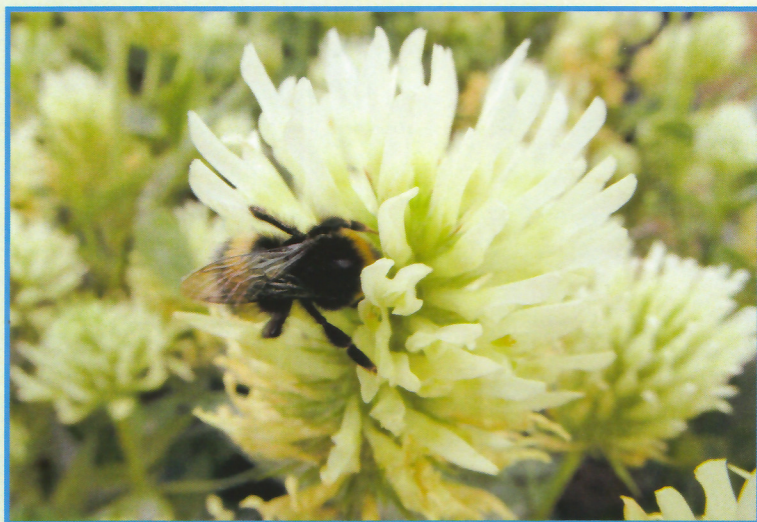


ISSN 2072-9081 (print)
ISSN 2500-1396 (online)

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

Научный журнал
Федерального аграрного
научного центра
Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого



Том 23
№ 4
2022

Vol. 23
No. 4
2022

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»
(ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Издание зарегистрировано
Федеральной службой
по надзору в сфере связи,
информационных
технологий и массовых
коммуникаций

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

Цель журнала – публикация
и распространение результатов
фундаментальных и прикладных
исследований отечественных и
зарубежных ученых по научному
обеспечению сельского и охот-
ничьего хозяйств при приоритет-
ном освещении проблем рацио-
нального природопользования и
адаптации агроэкосистем север-
ных территорий к меняющимся
климатическим условиям.

Целевая аудитория –
научные работники, преподава-
тели, аспиранты, докторанты,
магистранты, специалисты АПК
из России, стран СНГ и дальнего
зарубежья.

Рубрики журнала:

- ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ
- ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ
(Растениеводство.
Защита растений.
Сельскохозяйственная
микробиология и микология.
Хранение и переработка
сельскохозяйственной продукции.
Земледелие, агрохимия,
мелиорация. Кормопроизводство:
полевое и луговое, кормление
сельскохозяйственных животных.
Зоотехния.
Ветеринарная медицина.
Звероводство, охотоведение.
Механизация, электрификация,
автоматизация. Экономика.)
- ДИСКУССИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ
- РЕЦЕНЗИИ
- ХРОНИКА

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



Главный редактор – Сысеев Василий Алексеевич, д.т.н., профессор, академик РАН,
заслуженный деятель науки РФ, научный руководитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока,
г. Киров, Россия

Зам. главного редактора – Рубцова Наталья Ефимовна, к.с.-х.н., доцент,
зав. научно-организационным отделом ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Ответственные секретари: Соболева Наталия Николаевна, инженер по НТИ научно-
организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,

Шемуранова Наталья Александровна – к.с.-х.н., зав. лабораторией кормления сельско-
хозяйственных животных, старший научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока,
г. Киров, Россия

Редакционный совет

Андреев
Николай Руфеевич

д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-
исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего
сырья – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля
имени А. Г. Лорха», г. Москва, Россия

Багиров
Вугар Алиевич

д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Департамента координации
деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук
Минобрнауки России, г. Москва, Россия

Баталова Галина
Аркадьевна

д.с.-х.н., профессор, академик РАН, зам. директора по селекционной
работе, зав. отделом овса ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Гурьянов Александр
Михайлович

д.с.-х.н., профессор, директор Мордовского НИИСХ – филиала
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия

Дёгтева Светлана
Владимировна

д.б.н., чл.-корр. РАН, директор Института биологии Коми научного центра
УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

Джавадов
Эдуард Джавадович

д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры
эпизоотологии им. В. П. Урбана ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государ-
ственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Россия

Домский Игорь
Александрович

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства
имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

Еремин
Сергей Петрович

д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения
с.-х. животных и акушерства ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная
сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

Иванов Дмитрий
Анатольевич

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Всероссийского
научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала
ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Тверь, Россия

Казакевич
Пётр Петрович

д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, зам. председателя Президиума
НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь

Косолапов Владимир
Михайлович

д.с.-х.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный
научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса»,
г. Москва, Россия

Костяев Александр
Иванович

д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель
отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК
и сельских территорий Института аграрной экономики и развития сельских
территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский
ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

Куликов
Иван Михайлович

д.э.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный
селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства»,
г. Москва, Россия

Леднев
Андрей Викторович

д.с.-х.н., доцент, главный научный сотрудник, руководитель Удмуртского
НИИСХ – структурного подразделения ФГБНУ «Удмуртский ФИЦ УрО РАН»,
г. Ижевск, Россия

Никонова Галина
Николаевна

д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, руководитель
отдела прогнозирования трансформации экономических структур и
земельных отношений Института аграрной экономики и развития сельских
территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский
ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

Пашкина
Юлия Викторовна

д.в.н., профессор, и.о. зав. кафедрой эпизоотологии, паразитологии и
ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Нижегородская государ-
ственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

Савченко
Иван Васильевич

д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела
растительных ресурсов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт лекарственных и ароматических растений», г. Москва, Россия

**Журнал включен
в Перечень рецензируемых
научных изданий,
в которых должны быть
опубликованы основные
научные результаты
диссертаций на соискание
ученых степеней
кандидата и доктора наук**

Журнал включен в базы данных
РИНЦ, ВИНТИ, AGRIS,
Russian Science Citation Index
(RSCI) на ведущей мировой
платформе Web of Science,
BASE, Dimensions,
Ulrich's Periodicals Directory,
DOAJ, EBSCO

Полные тексты статей
доступны на сайтах электронных
научных библиотек:
eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
ЭНЦХБ:
<http://www.cnsb.ru/elbib.shtm>;
CYBERLENINKA:
<https://cyberleninka.ru/>;
журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Оформить подписку можно на
сайте "Объединенного каталога
"Пресса России" www.pressa-rf.ru
по подписному индексу 58391,
а также подписаться через
интернет-магазин «Пресса по
подписке» <https://www.akc.ru>
Электронная версия журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Адрес издателя и редакции:
610007, г. Киров,
ул. Ленина, 166а,
тел./факс (8332) 33-10-25;
тел. (8332) 33-07-21
www.agronauka-sv.ru

E-mail:
agronauka-esv@fanc-sv.ru

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

На 4-й странице обложки фото
Е. Перминова

Подписано к печати
15.08.2022 г.

Дата выхода в свет
31.08.2022.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 19,01.

Тираж 100 экз. Заказ 15.

Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

Адрес типографии:

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Самоделькин
Александр
Геннадьевич

Сисягин
Павел Николаевич

Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Цой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна

Щеникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

Брандорф
Анна Зиновьевна

Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

Козлова Людмила
Михайловна

Костенко Ольга
Владимировна

Рябова Ольга
Вениаминовна

Савельев Александр
Павлович

Товстик Евгения
Владимировна

Филатов
Андрей Викторович

Шешегова
Татьяна Кузьмовна

Юнусов Губейдулла
Сибиятулович

д.б.н., профессор, руководитель аграрно-экологического направления
АНО «Нижегородский научно-образовательный центр»,
г. Нижний Новгород, Россия

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, ФГБОУ ВО «Нижегородская государ-
ственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой агрохимии и агроэкологии
ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная
академия», г. Нижний Новгород, Россия

д.в.н., доцент, зав. кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Россия

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, заместитель генерального
директора по научной работе РУП «Научно-практический центр
НАН Беларуси по земледелию», г. Жодино, Республика Беларусь

д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия

д.б.н., главный научный сотрудник, зав. лабораторией биотехнологии растений
и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.с.-х.н., доцент, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, зав. лабора-
торией селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ
Северо-Востока, г. Киров, Россия

Президент Байченской академии сельскохозяйственных наук (КНР),
иностраный член РАН, г. Байчен, Китай

д.т.н., Латвийский университет естественных наук и технологий,
г. Елгава, Латвия

д.т.н., профессор, декан факультета Люблинского природоведческого
университета, г. Люблин, Польша

профессор, ректор, Университет Шопрона, Институт охраны дикой
природы и зоологии позвоночных, г. Шопрон, Венгрия

профессор VTT технического исследовательского центра Финляндии,
г. Эспоо, Финляндия

д.т.н., профессор, Технолог-природоведческий институт, г. Варшава, Польша

профессор, научный руководитель Цилинского аграрного университета,
иностранный член РАН, член инженерной академии наук Китая,
г. Чанчунь, Китай

Редакционная коллегия

д.т.н., профессор, и.о. зав. кафедрой механики и инженерной графики
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

д.с.-х.н., директор ФГБНУ «Федеральный научный центр по пчеловодству»,
г. Рыбное, Россия

д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный
сотрудник, зав. лабораторией зерно- и семяочистительных машин
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.б.н., профессор, зав. отделом экологии и ресурсосведения ФГБНУ
«Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

д.в.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией ветеринарной
биотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, зав. отделом земледелия,
агрохимии и мелиорации ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

к.э.н., доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и финансов
ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

к.б.н., доцент кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Пермская государ-
ственная фармацевтическая академия», г. Пермь, Россия

д.б.н., главный научный сотрудник отдела экологии животных ФГБНУ
«Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

к.б.н., доцент, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения
химии, старший научный сотрудник Центра компетенций «Экологические
технологии и системы» ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
г. Киров, Россия

д.в.н., профессор кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии ФГБОУ
ВО «Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

д.б.н., старший научный сотрудник, зав. лабораторией иммунитета
и защиты растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.т.н., профессор кафедры механизации производства и переработки с.-х.
продукции Аграрно-технологического института ФГБОУ ВО «Марийский
государственный университет», г. Йошкар-Ола, Россия

© The founder of the journal is Federal Agricultural Research Center
of the North-East named N.V. Rudnitsky, 610007, Kirov, Lenin str., 166a

The publication is registered
by the Federal Service for
Supervision of Communications,
Information Technology and
Mass Media

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

Aim of the Journal – publication and distribution of results of fundamental and applied researches conducted by native and foreign scientists for scientific support of agricultural and hunting sectors, with focus on the problems of rational use of natural resources and adaptation of agroecosystems of northern territories to changing climatic conditions.

Target audience – scientists, university professors, graduate students, postdoctoral, masters, specialists of agro-industrial complex from Russia, countries of CIS and far-abroad countries.

Headings

- REVIEWS
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES
(Plant Growing. Plant protection. Agricultural Microbiology and Mycology. Storage and Processing of Agricultural Production. Agriculture, Agrochemistry, Land Improvement. Fodder Production: Field and Meadow; Livestock Feeding. Zootechny. Veterinary Medicine. Fur Farming and Hunting. Mechanization, Electrification, Automation. Economy)
- DISCUSSION PAPERS
- PEER-REVIEWS
- CHRONICLE

All the materials of the
«Agricultural Science Euro-North-East» journal are available
under Creative Commons
Attribution 4.0 License



Editor-in-chief – Vasily A. Sysuev, Dr. of Sci. (Engineering), the professor, academician of RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, academic advisor of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Deputy editor-in-chief – Natalya E. Rubtsova, Cand. of Sci. (Agricultural), associate professor, Head of the Science and Organization Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

The responsible secretaries: Natalia N. Soboleva, engineer of scientific and technical information, the Science and Organization Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia,
Natalia A. Shemuranova, Cand. of Sci. (Agricultural), Head of the Laboratory of Feeding Farm Animals, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Editorial council

- | | |
|------------------------------|---|
| Nikolay R. Andreev | Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, Academic advisor of the All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russia |
| Vugar A. Bagirov | Dr. of Sci. (Biology), professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of Coordination of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia |
| Galina A. Batalova | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy Director on selection work, the head of Department of oats of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia |
| Alexander M. Guryanov | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Director of Mordovia Agricultural Research Institute –Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Saransk, Russia |
| Svetlana V. Degteva | Dr. of Sci. (Biology), corresponding member of RAS, the Director of Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia |
| Eduard D. Dzhavadov | Dr. of Sci. (Veterinary), Honored Worker of Science of the Russian Federation, academician of RAS, professor at the Department of Epizootology named after V.P. Urban, Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia |
| Igor A. Domskiy | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director at Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia |
| Sergey P. Eremin | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Small Animal Science, Breeding of Farm Animals and Obstetrics of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |
| Dmitriy A. Ivanov | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the All-Russian Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Tver, Russia |
| Petr P. Kazakevich | Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy Chairman of Presidium of Belarus NAS, a foreign member of RAS, Minsk, Republic of Belarus |
| Vladimir M. Kosolapov | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the Director of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia |
| Aleksandr I. Kostjaev | Dr. of Sci. (Economics), professor, academician of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Economic and Social Problems of the Development of Regional Agro-Industrial Complex and Rural Territories the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia |
| Ivan M. Kulikov | Dr. of Sci. (Economics) professor, academician of RAS, Director of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia |
| Andrei V. Lednev | Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia |
| Galina N. Nikonova | Dr. of Sci. (Economics), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Forecasting Changes in Economic Structures and Land Relations of the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia |
| Yulia V. Pashkina | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the acting head at the Department of Epizootology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Inspection of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |
| Ivan V. Savchenko | Dr. of Sci. (Biology), the professor, academician of RAS, chief researcher All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia |

The Journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications, where research results from «Candidate of Science» and «Doctor of Science» academic degree dissertations have to be published

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), AGRIS, Russian Science Citation Index (RSCI) on the world's leading platform Web of Science, BASE, Dimensions, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, EBSCO

The full texts of articles are available on the websites of the following journals and scientific electronic libraries: eLIBRARY.RU, Electronic Scientific Agricultural Library, CYBERLENINKA, Google Scholar

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), Abstract journal and databases of All-Russian Institute of Scientific and Technical Information

One can subscribe for the print edition of the journal «Agricultural Science Euro-North-East» at the site of the Union catalogue «Press of Russia» www.pressa-rr.ru by the index 58391 or via the Internet shop «Pressa po Podpiske (Press by subscription)» <https://www.akc.ru>

Electronic version of the journal: <http://www.agronauka-sv.ru>

Publisher and editorial address:
610007, Kirov, Lenin str., 166a,
tel./fax (8332) 33-10-25;
tel. (8332) 33-07-21
www.agronauka-sv.ru

E-mail: agronauka-esv@fanc-sv.ru

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

On the outside back cover there is the photo of
E. Perminov

Passed for printing
15.08.2022 r.

Date of publication
31.08.2022.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pccs. 1. 19.01.
Circulation 100 copies. Order 15.
Free price.

Address of the printing house:
FGBNU FARC North-East. 610007,
Kirov, Lenin str., 166a

- Alexander G. Samodelkin** Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the agricultural and Environmental direction of the Nizhny Novgorod Scientific and Educational Center, Nizhny Novgorod, Russia
- Pavel N. Sisyagin** Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Vera I. Titova** Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Anton N. Tokarev** Dr. of Sci. (Veterinary), associate professor, Head of the Department of Veterinary-Sanitary Inspection Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia
- Eroma P. Urban** Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy General Director for Research, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus
- Yuriy A. Tsoy** Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
- Irina G. Shirokikh** Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, Head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Irina N. Shchennikova** Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Changzhong Ren** President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China
- Semjons Ivanovs** Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia
- Andrzej Marczuk** Dr. of Sci. (Engineering), professor, dean, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland
- András Náhlik** The professor, rector, University of Sopron, Institute of Wildlife Management and Vertebrate Zoology, Sopron, Hungary
- Kaisa Poutanen** Dr. of Sci. (Engineering), Academy Professor, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland
- Vaclav Romaniuk** Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland
- Li Yu** professor, chief scientific officer, Jilin Agricultural University, foreign member of RAS, member of the Chinese Academy of Sciences, Changchun, China

Editorial Board

- Aleksey V. Aleshkin** Dr. of Sci. (Engineering), professor, acting Head of the Department of Mechanics and Engineering Drawing, Vyatka State University, Kirov, Russia
- Anna S. Brandorf** Dr. of Sci. (Agricultural), the director of the Federal Research Center for Beekeeping, Rybnoe, Russia
- Alexander I. Burkov** Dr. of Sci. (Engineering), professor, chief researcher, the Honored Inventor of the Russian Federation, head of the Laboratory of Grain- and Seed-Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Tatyana L. Egoshina** Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the Department of Ecology and Resource Management, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
- Alexander A. Ivanovsky** Dr. of Sci. (Veterinary), leading researcher, head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Lyudmila M. Kozlova** Dr. of Sci. (Agricultural), leading researcher, head of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Land Improvement, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Olga V. Kostenko** Cand. of Sci. (Economics), associate professor, associate professor at the Department of Accounting and Finance, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
- Olga V. Ryabova** Cand. of Sci. (Biology), associate professor at the Department of Microbiology, Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, Russia
- Alexander P. Saveljev** Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, the Department of Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
- Evgeniya V. Tovstik** Cand. Sci. (Biology), associate professor at the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, senior researcher at the Center of Competence and Environmental Technologies and Systems, Vyatka State University, Kirov, Russia
- Andrey V. Filatov** Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the Department of Zoological Hygiene, Physiology and Biochemistry, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
- Tatyana K. Sheshhegova** Dr. of Sci. (Biology), senior researcher, head of the Laboratory of Immunity and Plants Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Gubeidulla S. Junusov** Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Agricultural Technologies of Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

Н. Ф. Синцова, И. В. Лыскова, Е. И. Кратюк, В. М. Архипов

Оценка гибридов картофеля по динамике накопления урожайности и содержанию крахмала в клубнях в агроэкологических условиях Волго-Вятского региона..... 423

И. Ф. Дёмина

Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья..... 433

К. Т. Етдзаева, Е. В. Овэс

Выращивание мини-клубней картофеля в двух оборотах защищенного грунта в условиях РСО-Алания..... 441

А. Д. Степин, М. Н. Рысев, Т. А. Рысева, С. В. Уткина

Оценка перспективных линий льна-долгунца селекционного сортоиспытания по основным хозяйственно ценным признакам и адаптивности..... 450

М. П. Михайлова

Влияние гербицида Пульсар на урожайность и качество семян сои в условиях Приамурья..... 463

А. А. Регидин, С. А. Игнатъев, К. Н. Горюнов, Н. С. Кравченко

Оценка хозяйственно-биологических признаков исходного материала люцерны на юге Ростовской области..... 471

Н. П. Тимофеев

Фитохимическая характеристика и активность лекарственного сырья из листовой части фармакопейного растения левзеи сафлоровидной..... 480

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Н. А. Морозков, Е. В. Суханова, Л. С. Терентьева

Влияние разных доз экструдата ржи на переваримость рациона и биохимические показатели рубцовой жидкости и крови у ремонтных тёлочек..... 496

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

В. Г. Гольдштейн, Л. П. Носовская, Л. В. Адикаева, В. А. Коваленок

Оценка различных сортов гороха как сырья для глубокой переработки..... 507

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ

И. Г. Широких, Я. И. Назарова, А. В. Бакулина, И. А. Остерман, А. Р. Белик,

Ю. А. Буюклян, Н. А. Боков, А. А. Широких

Актинобиота корней *Rhizoglyphus carthagenensis* (Willd.) Pjiri как потенциальный источник микробиологических препаратов для растениеводства..... 515

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

Л. М. Козлова, Ф. А. Попов, Е. Н. Носкова, Е. В. Светлакова

Влияние биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах..... 527

А. С. Фролова, М. К. Переверзева, Л. К. Асякина, Ю. В. Голубцова, М. А. Осинцева

Ферментативная активность техногенных поверхностных образований Кузбасса..... 538

ЗООТЕХНИЯ

С. В. Николаев

Раннее прогнозирование интенсивности прироста живой массы у телят с использованием биохимических маркеров крови..... 548

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

Ю. А. Цой, В. В. Кирсанов, Р. А. Мамедова

Оценка эргономичности труда операторов машинного доения, работающих на установках «Карусель»..... 555

П. А. Савиных, А. А. Рылов, В. Н. Шулятьев, С. А. Иванов

Исследование и оптимизация параметров функционирования электронного блока доильного аппарата, диагностирующего состояние четвертей вымени на мастит..... 562

В. Ф. Вторый, С. В. Вторый

Источники эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота..... 572

ХРОНИКА

Новые научные издания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока..... 580

CONTENTS

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

- Nina F. Sintsova, Irina V. Lyskova, Elena I. Kratyuk, Vladislav M. Arkhipov*
Evaluation of potato hybrids by the dynamics of accumulation of yield and starch content in tubers in agro-ecological conditions of the Volga-Vyatka region..... 423
- Irina F. Demina*
Influence of weather conditions on the yield and quality of spring wheat grain in the forest-steppe of the Middle Volga region..... 433
- Kristina T. Etdzaeva, Elena V. Oves*
Production of mini potato tubers in two rotations of protected ground in the conditions of North Ossetia-Alania..... 441
- Aleksander D. Stepin, Michail N. Rysev, Tamara A. Ryseva, Svetlana V. Utkina*
The assessment of promising fiber flax lines of breeding variety testing according to the main agronomic traits and adaptability..... 450
- Maria P. Mikhailova*
The effect of Pulsar herbicide on yield and quality of soybean seeds under the conditions of the Amur River Region..... 463
- Andrey A. Regidin, Stanislav A. Ignatiev, Kirill N. Goryunov, Nina S. Kravchenko*
Estimation of economic and biological traits of the alfalfa initial material in the south of the Rostov region..... 471
- Nikolay P. Timofeev*
Phytochemical characteristic and activity of medicinal raw material from the leaves of pharmacopoeial plant *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin 480

FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

- Nikolay A. Morozkov, Elena V. Sukhanova, Ludmila S. Terentyeva*
The effect of different doses of rye extrudate on the digestibility of the diet feeds and biochemical parameters of rumen fluid and blood in replacement heifers..... 496

STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

- Vladimir G. Goldstein, Lilia P. Nosovskaya, Larisa V. Adikaeva, Vladimir A. Kovalenok*
Evaluation of various varieties of peas as raw material for deep processing..... 507

AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

- Irina G. Shirokikh, Yanina I. Nazarova, Anna V. Bakulina, Ilya A. Osterman, Albina R. Belik, Julia A. Buiuklian, Nikita A. Bokov, Alexander A. Shirokikh*
Actinobiota of *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin roots as potential source of microbiological preparations for cropping..... 515

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Lyudmila M. Kozlova, Fyodor A. Popov, Eugenia N. Noskova, Elena V. Svetlakova*
Influence of biological intensification on the balance of sod-podzolic soil nutrient elements in field crop rotations..... 527
- Anna S. Frolova, Maria K. Pereverzeva, Ludmila K. Asyakina, Yulia V. Golubtsova, Maria A. Osintseva*
Enzymatic activity of technogenic surface formations of Kuzbass..... 538

ZOOTECHNY

- Semyon V. Nikolaev*
The use of biochemical blood markers for early prediction of the intensity of live weight gain of calves..... 548

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Yuriy A. Tsoy, Vladimir V. Kirsanov, Ravza A. Mamedova*
Evaluation of labor ergonomics of machine milking operators working at milking machines «Carousel»..... 555
- Peter A. Savinyh, Aleksandr A. Rylov, Valeriy N. Shulatiev, Semjons A. Ivanovs*
Investigation and optimisation of the functioning parameters of the milking machine electronic unit, diagnosing the state of the udder quarters of cows for mastitis..... 562
- Valeriy F. Vtoryi, Sergei V. Vtoryi*
Sources of carbon dioxide emissions on a cattle dairy farm..... 572

CHRONCLE

- New scientific publications of FANC of the North-East..... 580

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.423-432>

УДК 633.491:631.527

Оценка гибридов картофеля по динамике накопления урожайности и содержанию крахмала в клубнях в агроэкологических условиях Волго-Вятского региона

© 2022. Н. Ф. Синцова, И. В. Лыскова✉, Е. И. Кратюк, В. М. Архипов
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» г. Киров, Российская Федерация

В статье представлены результаты изучения сортообразцов картофеля в питомнике динамического испытания за 2019...2021 гг. в агроэкологических условиях Волго-Вятского региона (Кировская область) по урожайности и содержанию крахмала в клубнях. Объекты исследования – 10 гибридов селекции Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. В качестве стандартов использовали раннеспелый сорт Удача (ВНИИ картофельного хозяйства), среднеранний сорт Невский (Северо-Западный НИИСХ), средне-спелый сорт Чайка (ФАНЦ Северо-Востока). Выделены перспективные гибриды картофеля различного срока созревания с высокой потенциальной продуктивностью: раннеспелый 172-13 (24,1 т/га); среднеранние – 27-07 (22,7 т/га), 179-10 (22,9 т/га), 233-12 (24,0 т/га); среднеспелый 232-12 (22,4 т/га). При благоприятных агрометеорологических условиях (2019 г.) максимально высокую (более 28,0 т/га) урожайность сформировали гибриды: раннеспелый 172-13, среднеранние 27-07 и 179-10, среднеспелый 580-13. В нестабильных условиях среды (2020 и 2021 гг.) выделились гибриды: среднеранний 233-12 (19,6 и 27,7 т/га) и среднеспелый 232-12 (19,2 и 24,0 т/га). В группе среднеранних сортов с повышенным (15 % и более) содержанием крахмала в годы изучения выделены гибриды 27-07, 179-10, 72-13, 182-13. Максимальное накопление крахмала 18-21 % отмечено у среднеспелого гибрида 580-13. Установлены достоверно высокие межсезонные корреляции по урожайности на 60-й день от посадки, что характеризовало все сорта, как наиболее стабильные, на 80-й день отмечены слабые межсезонные корреляции, которые свидетельствовали о нестабильности данного показателя в различные по метеорологическим годам (сильные взаимодействия «генотип-среда», т. е. урожайность сортообразцов в этот период зависела от действия факторов среды). Выявлены высокие межсезонные корреляции по показателю «содержание крахмала» на 80-й день, сорта и гибриды к моменту полного созревания сохраняли стабильность по данному показателю, в отличие от ранних сроков уборки, когда они более зависимы от колебаний факторов среды.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., селекция, сортообразец, группа спелости, продуктивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0007).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Синцова Н.Ф., Лыскова И.В., Кратюк Е.И., Архипов В.М. Оценка сортов и гибридов картофеля по динамике накопления урожайности и содержанию крахмала в клубнях в агроэкологических условиях Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):423-432. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.423-432>

Поступила: 20.04.2022

Принята к публикации: 02.08.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Evaluation of potato hybrids by the dynamics of accumulation of yield and starch content in tubers in agro-ecological conditions of the Volga-Vyatka region

© 2022. Nina F. Sintsova, Irina V. Lyskova✉, Elena I. Kratyuk, Vladislav M. Arkhipov

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article provides the results of studying the accessions of potato in the nursery of dynamic test for 2019-2021 in agro-ecological conditions of the Volga-Vyatka region (Kirov region) by the yield and starch content in tubers. The objects of the study were 10 hybrids bred by Falenki Breeding Station- branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (FARC North-East). Early variety Udacha (Russian Potato Research Centre), middle-early variety Nevsky (North-West Research Institute of Agriculture), mid-season variety Chaika (FARC North-East) were taken as standard. Promising potato hybrids of different maturity groups with high potential yield have been selected: early variety 172-13 (24.1 t/ha), middle-early varieties 27-07 (22.7 t/ha), 179-10 (22.9 t/ha), 233-12 (24.0 t/ha), mid-season 232-12 (22.4 t/ha).

By favorable agro-weather conditions (2019) the highest yield (more than 28.0 % t/ha) was developed by hybrids: early 172-13, middle-early 27-07 and 179-10, mid-season 580-13. In the unstable environment of 2020 and 2021 the following hybrids were noted: middle-early 233-12 (19.6 u 27.7 t/ha) and mid-season 232-12 (19.2 u 24.0 t/ha). In the group of middle-early varieties with high starch content (15 % and more) during the years of study there were selected the hybrids 27-07, 179-10, 72-13, 182-13. The maximum accumulation of starch (18-21 %) was noted in mid-season hybrid 580-13. Significantly high inter-seasonal correlations by yield on the 60th day from the planting have been established, that characterized all the varieties as the most stable. On the 80th day there were noted weak inter-seasonal correlations that proved the instability of this parameter during the years which differed in weather conditions (strong interaction "genotype-environment", that is the yield of variety samples during this period depended on the effect of environment factors). High inter-seasonal correlations by the parameter "starch content" on the 80th day have been revealed. The varieties and hybrids by the time of complete ripeness preserved the stability by this indicator unlike early harvesting periods when they were more dependable on the fluctuations of environmental factors.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., breeding, accession, maturity group, productivity

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0007).

The authors thank the reviewers for their comments to improve the manuscript for the publication.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citations: Sintsova N. F., Lyskova I. V., Kratyuk E. I., Arhipov V. M. Evaluation of potato varieties and hybrids by the dynamics of accumulation of yield and starch content in tubers in agro-ecological conditions of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):423-432. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.423-432>

Received: 20.04.2022

Accepted for publication: 02.08.2022

Published online: 25.08.2022

Картофель в России – одна из основных продовольственных культур, среднегодовой объем потребления которой составляет 13-14 млн тонн, в переработанном виде – 1 млн тонн. Среднее потребление картофеля на душу населения в Российской Федерации – 112 кг в год [1, 2]. Использование сортов картофеля в сельском хозяйстве в настоящее время является незаменимым средством производства. В селекционных программах предпринимается попытка приблизить характеристики сорта картофеля к идеалу. Современная модель сорта включает от 40 до 50 различных признаков, но основными являются высокая и стабильная урожайность, привлекательный внешний вид, хорошая лежкость и устойчивость к механической уборке [3, 4]. В то же время для каждого региона может быть задана своя модель сорта – сочетание заданных признаков будет определяться особенностями почвенно-климатических условий региона [5, 6, 7]. Важность создания новых высокоурожайных сортов картофеля связана с тем, что под воздействием неблагоприятных внешних условий, а также за счет поражения болезнями и вредителями наблюдаются нестабильность урожайности и ее снижение у старых сортов. Исследования и практика свидетельствуют, что всё большее влияние на устойчивый рост урожайности оказывают факторы внешней среды (вариабельность урожайности по годам на 60-80 % обусловлена условиями погоды). С ростом потенциальной продуктивности и совершенствования технологии возделывания

необходимость повышения экологической устойчивости, устойчивости к абиотическим факторам, роль сортов возрастает.

Одним из главных резервов стабилизации и повышения продуктивности картофеля в Волго-Вятском регионе является выведение сортов, адаптивных к местным условиям. Накопление урожая в регионе ограничивают жесткие погодные условия: короткий безморозный период, часто засушливая погода в весенне-летние месяцы, неравномерность распределения осадков в период вегетации и т. д. К тому же климатические условия большинства районов региона показывают необходимость создания сортов преимущественно раннего и среднераннего сроков созревания [8].

Одной из задач современной селекции картофеля является создание сортов целевого использования [9]. Общеизвестно, что пищевую ценность картофеля определяет содержание сухого вещества и крахмала, от этого зависит выход товарной продукции при производстве крахмала, спирта, а также количество продуктов переработки.

Содержание крахмала в картофеле является сортовым признаком, но при этом зависит от многих факторов: агроэкологических, климатических, агротехники, степени зрелости клубней и условий их хранения [10, 11, 12]. Селекционеры считают, что главными метеорологическими факторами, которые оказывают влияние на накопление крахмала в клубнях, являются температура воздуха и количество осадков [10, 13].

Стабильно высокое содержание крахмала и соответствующее его качество является важной характеристикой сортов, предназначенных для переработки, причем сорта должны быть не только высококрахмалистыми, но и обладать высоким потенциальным сбором крахмала с единицы площади [14]. Содержание крахмала определяет консистенцию, волокнистость и вкус клубней [15, 16]. Картофель, предназначенный для переработки, должен соответствовать ГОСТ 6014-68 «Картофель свежий для переработки. Технические условия» и иметь базисную массовую долю крахмала более 15 % (для позднего картофеля), для раннего картофеля массовая доля не нормируется¹. Наиболее интенсивно в динамике роста культуры накопление крахмала происходит в начале вегетации, во время образования и начала роста клубней [10].

Цель исследований – оценить гибриды картофеля по накоплению урожая и содержанию крахмала в клубнях в динамике, выделить скороспелые с повышенным содержанием крахмала.

Новизна исследований – в результате длительной селекционной работы на Фалёнской селекционной станции – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока созданы новые гибриды картофеля для почвенно-климатических условий Волго-Вятского региона, которые представляют интерес для сельхозтоваропроизводителей, а также для использования в дальнейших программах по селекции картофеля.

Материал и методы. Исследование проводили в питомнике динамического сортоиспытания опытного поля селекционного севооборота Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2019...2021 гг. Объекты исследований – 10 новых гибридов картофеля селекции Фалёнской селекционной станции. Сравнение вели со стандартными районированными сортами, утвержденными Госкомиссией по сортоиспытанию в Кировской области: раннеспелый Удача (ВНИИ картофельного хозяйства), среднеранний Невский (Северо-Западный НИИСХ), среднеспелый Чайка (ФАНЦ Северо-Востока).

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, рН_{KCl} 4,8...5,3, содержание гумуса 2,5...2,7 %, фосфора – 288...351 мг/кг, калия – 186...237 мг/кг почвы. Предшественник – зерновые культуры. Агрофон: под культивацию внесена (вразброс 1-РМГ-4) нитроаммофоска (N₆P₂₀K₃₀) в дозе 3,0 ц/га.

В питомнике проводили три пробные копки: через 60, 70 и 80 дней после посадки по методике ВНИИКС, приведена биологическая урожайность, рассчитанная по формуле: $У (т/га) = \text{количество растений на 1 га} \times \text{масса клубней с 1 куста}^2$. Определение крахмала в клубнях проводили после каждой копки (дополнительно в конце вегетации на 90-й день) удельно-весовым методом по методике физиолого-биохимических исследований картофеля³.

Вегетационный период 2019 г., по данным Фалёнской метеостанции, можно охарактеризовать как благоприятный для роста и развития картофеля: во время вегетации периодов, приостанавливающих рост и развитие растений, не наблюдали. В июне среднемесячная температура воздуха составила +15,1 °С (-0,9 °С к норме), в июле – +15,9 °С (-1,9 °С). Только в августе выпало 157,3 мм осадков (238 % от нормы), ГТК за месяц составил 4,37 (крайнее переувлажнение), что создавало трудности при уборке картофеля.

Вегетационный период 2020 г. по своим показателям был близок к среднемноголетним значениям с небольшим превышением температуры воздуха (+0,6 °С к норме) и осадками, составившими 97 % от нормы. Росту и развитию растений картофеля препятствовала неравномерность выпадения осадков, тогда как более равномерная температура воздуха была вполне подходящей для культуры картофеля. В июне установилась засушливая погода ГТК = 0,77. Июль был жарким (+2,4 °С к норме), осадков выпало на уровне среднемноголетних значений (109 %). В первой декаде августа осадки (173 % от нормы) на фоне пониженных температур (-0,7 °С) спровоцировали эпифитотию фитофтороза, которая помешала нормальному процессу накопления урожая и крахмала из-за гибели надземной массы растений.

¹ГОСТ 6014-68 «Картофель свежий для переработки. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2010. 4 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024862>

²Методика исследования по культуре картофеля. М., 1967. 264 с.

³Методика физиолого-биохимических исследований картофеля. М.: ВНИИКС, 1989. 142 с.

Вегетационный период 2021 г. характеризовался повышенными температурами воздуха с начала мая до конца августа. Средняя температура воздуха за период с мая по август составила 17,8 °C (+3,1 °C к норме), ГТК = 0,75. Ситуацию усугубила установившаяся засуха в июне, когда выпало всего 19,1 мм осадков, что составило 29 % от среднесуточного значения. В таких условиях картофель прекращает рост и развитие надземной массы, останавливается прирост клубней.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена по методикам дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета прикладных программ AGROS – версия 2.07.

Результаты и их обсуждение. Результаты изучения новых гибридов в питомнике динамического сортоиспытания по накоплению урожайности приведены в таблице 1. Влияние погодных условий на динамику накопления урожая клубней изучали при сравнении сортов со стандартными сортами известных групп спелости. Раннеспелые сорта должны формировать достаточную урожайность уже к первой копке, т. е. на 60-й день от посадки. Сравнивая гибриды по группе спелости со стандартными сортами за период изучения, установили, что в группу раннеспелых можно отнести гибрид 172-13, среднеранних – гибриды 165-00, 27-07, 179-10, 233-12, 72-13, 76-13, 182-13, среднеспелых – гибриды 232-12, 580-13.

В наиболее благоприятный для развития картофеля 2019 г. в группе раннеспелых сортов гибрид 172-13 превысил стандарт Удача по среднему значению урожайности во всех трех копках, среднесуточный прирост составил 0,97 т/га ко второй копке и 0,63 т/га – к третьей. Итоговая урожайность (на 80-й день от посадки) гибрида 172-13 была выше стандартного сорта на 24 %. Несущественно ниже данный гибрид сформировал урожайность в сравнении со стандартным сортом только в фитофторозный 2020 г. Средняя урожайность сортов данной группы в этот год была выше урожайности среднеранних и среднеспелых сортов на 5-6 %, так как ранние сорта успели сформировать урожай до гибели ботвы от фитофтороза.

В группе среднеранних сортов наибольшую среднюю урожайность при благоприятных условиях (2019 г.) показали гибриды 76-13, 27-07, 179-10 – они превысили урожайность стандартного сорта Невский на 46, 63,

81 % соответственно. Среднеспелый гибрид 233-12 сформировал наибольшую урожайность в 2020 и 2021 гг. (т. е. в более экстремальных условиях), превышая все сортообразцы, а также выше стандарта в своей группе на 11 и 34 %, при среднесуточном приросте урожайности в эти годы на 80-й день – 1,08 и 0,68 т/га соответственно.

В группе среднеспелых сортов в наиболее благоприятный год (2019 г.) выделился гибрид 580-13, который существенно превысил по урожайности стандартный сорт Чайка (на 7,7 т/га), однако в нестабильных условиях среды он сформировал урожайность на уровне стандарта.

Накопление крахмала в клубнях картофеля по группам спелости в среднем за годы изучения представлено на рисунке. Установлено, что существует различие в накоплении крахмала у ранних и поздних сортов. Аналогично быстрому формированию урожая к 60-му дню после посадки у ранних сортов более интенсивно идет и накопление крахмала, что указывает на более высокий КПД фотосинтеза у ранних сортов. При созревании у ранних сортов замедляется как прирост урожая клубней, так и накопление крахмала. Поздние сорта не выделяются в ранние сроки копki ни по урожаю, ни по содержанию крахмала, но в дальнейшем, сформировав более мощную надземную часть, ускоряют прирост клубневой массы и, соответственно, идет нарастание содержания крахмала в клубнях в более поздние сроки вегетации.

Раннеспелый гибрид 172-13 по содержанию крахмала не превзошел стандартный сорт Удача (табл. 2).

Группа среднеранних сортов не отличалась высоким накоплением крахмала, но можно отметить гибриды 27-07 и 179-10 с повышенным (более 15 %) содержанием крахмала в годы изучения. В условиях острой засухи в июне-июле 2021 года все изучавшиеся гибриды и сорта картофеля сформировали повышенное содержание крахмала.

В группе среднеспелых сортов содержание крахмала в данный период изучения составило от 13 до 18 %. В группе выделен гибрид 580-13 с максимальным содержанием крахмала (16-21 %) во все годы исследований.

Надо заметить, что к 90-му дню вегетации количество крахмала может понижаться, хотя урожай и в целом сбор крахмала с 1 га обычно продолжают увеличиваться, особенно этот процесс характерен для сортов более поздних сроков созревания.

Таблица 1 – Динамика накопления урожайности сортов и гибридов картофеля по группам спелости в период вегетации, т/га (2019-2021 гг.) /
Table 1 – Dynamics of accumulation of yield of potato varieties and hybrids by ripeness groups during the growing season, t/ha (2019-2021)

Сорт, номер гибрида / Variety, hybrid number	2019 г.			2020 г.			2021 г.			Среднее / Average		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Раннеспелые / Early maturing												
Удача, ст. / Uдача, st.	9,3	15,5	22,8	7,8	11,9	18,2	12,2	16,4	15,5	9,8	16,7	18,8
172-13	12,3	22,0	28,3	6,7	11,7	17,1	15,1	19,5	26,9	11,4	17,7	24,1
Среднее / Average	10,8	18,8	25,6	7,3	11,8	17,7	13,7	18,0	21,2	10,6	16,2	21,5
Среднеранние / Middle early												
Невский, ст. / Nevsky, st.	7,7	15,2	17,2	6,5	10,2	17,7	12,7	18,7	20,6	9,0	14,7	18,5
165-00	8,2	17,6	23,1	3,8	8,2	16,4	6,9	12,8	19,6	6,3	12,7	19,7
27-07	10,1	19,2	28,1	6,0	11,0	16,3	13,9	19,4	23,8	10,0	16,5	22,7
179-10	14,2	21,6	31,2	7,9	11,0	15,5	11,8	18,4	22,0	11,3	17,0	22,9
233-12	11,1	19,1	24,7	7,7	8,8	19,6	13,9	20,9	27,7	10,9	16,3	24,0
72-13	9,1	18,7	21,3	5,5	11,4	15,1	12,7	17,7	21,2	9,1	15,9	19,2
76-13	10,6	17,3	25,1	4,2	8,4	13,9	10,2	17,4	21,8	8,3	14,4	20,3
182-13	10,4	18,5	23,3	4,0	8,9	15,5	10,6	16,6	20,0	8,3	14,7	19,6
Среднее / Average	10,2	18,4	24,3	5,7	9,7	16,3	11,6	17,7	22,1	9,2	15,3	20,9
Среднепоздние / Mid-season												
Чайка, ст. / Чайка, st.	4,3	12,1	20,3	1,1	4,1	12,2	6,5	13,0	20,2	4,0	9,7	17,6
232-12	8,6	15,7	24,0	6,1	11,2	19,2	11,0	19,1	24,0	8,6	15,3	22,4
580-13	7,5	15,5	28,0	3,1	6,1	10,2	8,1	14,3	21,5	6,2	12,0	19,9
Среднее / Average	6,8	14,4	24,1	3,4	7,1	13,9	8,5	15,5	21,9	6,3	12,3	20,0
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	3,3	5,1	7,5	2,3	3,8	3,4	2,7	3,1	5,7	-	-	-

Примечания: Пробные копки: I – 60-й день, II – 70-й день, III – 80-й день после посадки /
Notes: Test diggings: I – the 60th day, II – the 70th day, III – the 80th day after planting

Таблица 2 – Динамика накопления содержания крахмала в клубнях картофеля по группам спелости в период вегетации, % (2019-2021 гг.) /
Table 2 – Dynamics of starch accumulation in potato tubers by ripeness groups during the growing season, % (2019-2021)

Сорт, номер гибрида / Variety, hybrid number	2019 г.				2020 г.				2021 г.				Среднее / Average			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Раннеспелые / Early maturing																
Удача, ст. / Uдача, st.	10	11	15	11	9	12	12	17	13	15	20	17	11	13	16	15
172-13	9	11	15	13	10	10	12	16	13	15	17	19	11	12	15	16
Среднее / Average	10	11	15	12	10	11	12	17	13	15	19	18	11	13	16	16
Среднеранние / Middle early																
Невский, ст. / Nevsky, st.	12	12	13	11	10	8	9	15	12	14	16	18	11	11	13	15
165-00	7	10	12	12	10	10	11	13	12	12	18	17	10	10	14	14
27-07	10	12	17	12	8	10	11	14	13	16	18	18	10	12	15	15
179-10	11	13	17	14	10	12	15	16	14	15	19	17	12	13	17	16
233-12	10	11	13	13	9	12	11	13	12	13	18	20	10	12	14	15
72-13	9	11	14	13	9	11	13	16	14	13	17	18	11	11	15	15
76-13	8	11	13	12	6	10	10	13	11	11	16	14	8	10	13	13
182-13	8	12	14	13	10	9	13	17	10	16	18	21	9	12	15	17
Среднее / Average	9	12	14	12	9	10	12	15	12	14	18	18	10	11	14	15
Среднепоздние / Mid-season																
Чайка, ст. / Чайка, st.	8	9	11	13	5	6	5	14	11	11	16	18	8	9	11	15
232-12	10	11	11	14	7	9	9	13	11	14	16	15	9	11	12	14
580-13	12	14	17	18	13	10	16	21	13	16	21	24	13	13	18	21
Среднее / Average	10	11	13	15	8	8	10	16	12	14	18	19	10	11	14	17
Среднее по опыту / Average by experiment	10	11	14	13	9	10	11	15	12	14	18	18	10	12	14	15

Примечания: Пробные копки: I – 60-й день, II – 70-й день, III – 80-й день, IV – 90-й день после посадки /

Notes: Test diggings: I – the 60th day, II – the 70th day, III – the 80th day, IV – the 90th day after planting

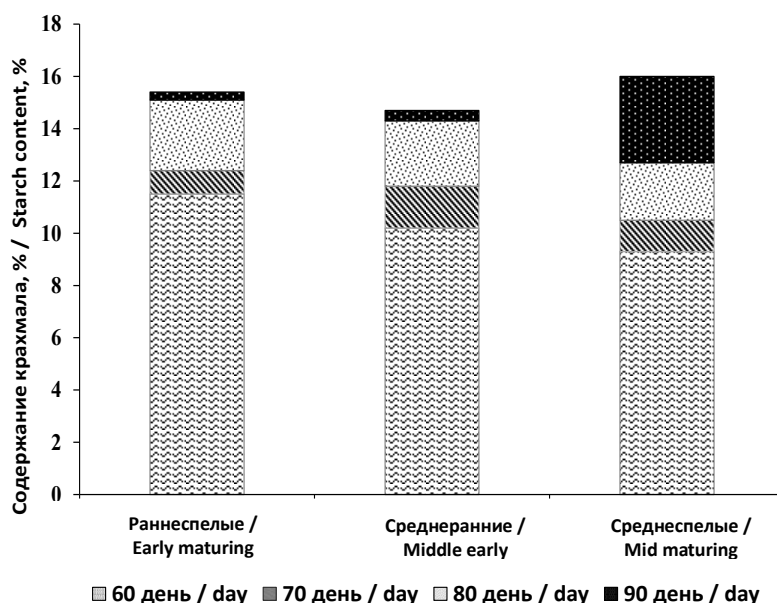


Рис. Динамика накопления крахмала в клубнях картофеля по группам спелости (среднее за 2019...2021 гг.) /

Fig. Dynamics of starch accumulation in potato tubers by maturity groups (average for 2019...2021)

Для определения взаимодействия «генотип-среда» проведена оценка сезонных эффектов по коэффициенту корреляции, который информативно разделяет признаки на стабильные и нестабильные. Чем ближе коэффициент корреляции признака к нулю, тем более выражено взаимодействие «генотип-среда», т. е. признак нестабильный под действием факторов среды. При коэффициенте корреляции, близком к единице, выраженность признака в одних условиях среды аналогична выраженности в других, т. е. данный признак можно считать стабильным [17, 18].

Достоверно высокие межсезонные корреляции по показателю «урожайность» в 1 копку на 60-й день характеризовали все сорта, как наиболее стабильные (табл. 3). На 80-й день отмечены слабые межсезонные корреляции по урожайности, которые свидетельствовали о нестабильности данного показателя в различные по метеоусловиям годы (сильные взаимодействия «генотип-среда» – сорта в разных условиях меняются местами (рангами), т. е. урожайность сортов в этот период зависела от действия факторов среды.

Таблица 3 – Сезонные эффекты по критериям хозяйственно ценных признаков на основе корреляционного анализа /

Table 3 – Seasonal effects according to the criteria of economically valuable traits based on correlation analysis

Показатель / Indicator	2019-2020 гг.	2019-2021 гг.	2020-2021 гг.
Урожайность / Yield			
1 копка / 1 st digging	0,71*	0,62*	0,80*
2 копка / 2 nd digging	0,59*	0,57*	0,69*
3 копка / 3 nd digging	-0,17	0,41	0,26
Содержание крахмала / Starch content			
1 копка / 1 st digging	0,48	0,45	0,43
2 копка / 2 nd digging	0,36	0,36	0,30
3 копка / 3 nd digging	0,78*	0,73*	0,76*

* 5%-ный уровень значимости / Significantly at the 5 % level

Высокие межсезонные корреляции по показателю «содержание крахмала» выявлены в 3 копку. Сортаобразцы к моменту полного созревания сохраняли стабильность по данному показателю, в отличие от ранних сроков уборки,

когда они более зависимы от колебаний факторов среды.

Как уже говорилось выше, главные метеофакторы, которые оказывают влияние на накопление крахмала в клубнях, – это

температура воздуха и количество осадков. Проведя корреляционный анализ экспериментальных данных, мы получили неоднозначные результаты (табл. 4). В благоприятных для роста и развития картофеля условиях (2019 г.) не выявлено зависимости между содержанием крахмала и метеопараметрами, можно предпо-

ложить, что сорта и гибриды только в подобных условиях реализуют свой потенциал по накоплению крахмала. В неблагоприятных условиях среды (2020 и 2021 гг.) отмечено более сильное влияние температуры и количества осадков на содержание крахмала в клубнях картофеля независимо от группы спелости сортообразцов.

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции между содержанием крахмала в клубнях картофеля по группам спелости и метеопараметрами (2019-2021 гг.) /

Table 4 – Correlation coefficients between starch content in potato tubers by maturity groups and meteorological parameters (2019-2021)

<i>Группа спелости /</i> <i>Maturity group</i>	<i>Содержание крахмала –</i> <i>температура воздуха /</i> <i>Starch content – air temperature</i>	<i>Содержание крахмала –</i> <i>количество осадков /</i> <i>Starch content – precipitation amount</i>
2019 г.		
Раннеспелые / Early maturing	-0,22	0,01
Среднеранние / Middle early	-0,10	0,04
Среднеспелые / Mid-season	0,56	0,71
2020 г.		
Раннеспелые / Early maturing	-0,99*	-0,88
Среднеранние / Middle early	-0,97*	-0,89
Среднеспелые / Mid-season	-0,99*	-0,75
2021 г.		
Раннеспелые / Early maturing	0,80	-0,86
Среднеранние / Middle early	0,89	-0,93
Среднеспелые / Mid-season	0,92	-0,94

* 5%-ный уровень значимости / Significantly at the 5% level

Закключение. Таким образом, по результатам исследований динамики накопления урожайности сортообразцов картофеля в 2019...2021 гг. выделены гибриды различного срока созревания для почвенно-климатических условий Волго-Вятского региона: раннеспелые – 172-13; среднеранние – 165-00, 27-07, 179-10, 233-12, 72-13, 76-13, 182-13; среднеспелые – 232-12, 580-13. Высокую (более 24 т/га) урожайность сформировали гибриды: раннеспелый 172-13; среднеранние 27-07, 179-10, 233-12; среднеспелый 232-12. В группе среднеранних сортов с высоким (15 % и более) содержанием крахмала за годы изучения выде-

лены гибриды 27-07, 179-10, 72-13, 182-13. Максимальное накопление крахмала 18-21 % отмечено у среднеспелого гибрида 580-13. Урожайность всех изученных сортообразцов в период завершения вегетации зависела от действия факторов среды – установлены сильные генотип-средовые взаимодействия. Выявлены высокие межсезонные корреляции ($r = 0,73-0,78$) по показателю «содержание крахмала» – сорта и гибриды к моменту полного созревания сохраняли стабильность по данному показателю, в отличие от ранних сроков уборки, когда они более зависимы от колебаний факторов среды.

Список литературы

1. Анисимов Б. В. Мировое производство картофеля: тенденции рынка, прогнозы и перспективы (аналитический обзор). Картофель и овощи. 2021;(10):3-8. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.45.71.008>
2. Терновых К. С., Попов Д. Ю. Современные тенденции в развитии картофелеводства. Московский экономический журнал. 2020;(12):390-397. DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10871>
3. Симаков Е. А., Анисимов Б. В., Жевора С. В., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Митюшкин А. В., Гайзуллин А. С. Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России. Картофель и овощи. 2020;(12):22-26. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.49.70.005>
4. Коршунов А. В., Симаков Е. А., Лысенко Ю. Н., Анисимов Б. В., Митюшкин А. В., Гаитов М. Ю. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства. Достижения науки и техники АПК. 2018;3(32):12-20. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10303>

5. Рубцов С. Л., Бакунов А. Л., Милехин А. В., Дмитриева Н. Н. Критерии отбора новых сортов картофеля для условий Средне-Волжского региона. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019;(1(75)):52-55. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37013926>
6. Белов Г. Л., Деревягина М. К., Зейрук В. Н., Васильева С. В. Фитопатологическая экспертиза сортов картофеля в условиях Московской области. Аграрный вестник Урала. 2021;(5(208)):8-21. DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-208-05-8-21>
7. Дорожкин Б. Н., Держачева Н. В., Аношкина Л. С., Сафонова А. Д., Красников С. Н. Перспективные модели сортов картофеля для Западной Сибири и генетические источники их реализации. Достижения науки и техники АПК. 2007;(7):11-14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10365606>
8. Синцова Н. Ф., Сергеева Н. Ф. Селекция картофеля на скороспелость на Северо-Востоке России. Картофельноеводство России: актуальные проблемы науки и практики. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2007. С. 87-91.
9. Симаков Е. А., Анисимов Б. В., Митюшкин А. В., Журавлев А. А. Сортные ресурсы картофеля для целевого выращивания. Картофель и овощи. 2017;(11):24-26. Режим доступа: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2018/11/11_2017.pdf
10. Козлова Л., Литвяк В., Мельситова И. Накопление и морфология крахмала картофеля белорусской селекции. Наука и инновации. 2010;9(21):43-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28826085>
11. Лапшинов Н. А., Гантимова А. Н., Куликова В. И. Селекция картофеля на пригодность к переработке. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(1):23-26. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10105>
12. Бутов А. В., Мандрова А. А. Влияние физиолого-биохимических процессов в растениях картофеля на накопление крахмала в клубнях. Агропромышленные технологии Центральной России. 2019;2(12):48-57. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38319908>
13. Держачева Н. В., Согуляк С. В. Динамика накопления крахмала у раннеспелых сортов и гибридов картофеля в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. Актуальные вопросы садоводства и картофелеводства: сб. тр. Междунар. дистанционной научн.-практ. конф. Челябинск: ФГБНУ ЮУНИИСК, 2018. С. 358-363.
14. Коршунов А. В. Картофель России. М.: ООО «Редакция журнала «Достижения науки и техники АПК», 2003. Т. 3. 331 с.
15. Liu Q., Weber E., Currie V., Yada R. Physiochemical properties of starches during potato growth. Carbohydr. Polym. 2003;51(2):213-221. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00138-8)
16. Leonel M., do Carmo E. L., Fernandes A. M., Soratto R. P., Eburneo Ju. A. M., Garcia É. L., Rodrigues dos Santos T. P. Chemical composition of potato tubers: influence of varieties and growth conditions. Journal of Food Science and Technology. 2017;54:2372-2378. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-017-2677-6>
17. Бебякин В. М., Кулеватова Т. Б., Старичкова Н. И. Методические подходы, методы и критерии оценки адаптивности растений. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2005;5(2):69-71. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11700278>
18. Бебякин В. М., Злобина Л. Н. Взаимосвязь между признаками качества зерна у твердой пшеницы: сезонные и региональные эффекты. Селекция и семеноводство. 1995;(4):10-13.

References

1. Anisimov B. V. World potato production: market trends, forecasts and prospects (analytical review). *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2021;(10):3-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.45.71.008>
2. Ternovyykh Konstantin S., Popov Dmitry Y. Modern trends in the development of potato growing. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal* = Moscow journal. 2020;(12):390-397. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10871>
3. Simakov E. A., Anisimov B. V., Zhevor S. V., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushkin A. V., Gaizatulina A. S. Current trends in the development of potato breeding and seed production in Russia. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2020;(12):22-26. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.25630/PAV.2020.49.70.005>
4. Korshunov A. V., Simakov E. A., Lysenko Yu. N., Anisimov B. V., Mityushkin A. V., Gaitov M. Yu. Actual problems and priority directions of innovative development of potato breeding. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;3(32):12-20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10303>
5. Rubtsov S. L., Bakunov A. L., Milekhin A. V., Dmitrieva N. N. Kriterii otbora novykh sortov kartofelya dlya usloviy Sredne-Volzhskogo regiona. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;(1(75)):52-55. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37013926>
6. Belov G. L., Derevyagina M. K., Zeyruk V. N., Vasil'eva S. V. Phytopathological examination of potato varieties in the conditions of the Moscow region. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2021;(5(208)):8-21. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-208-05-8-21>
7. Dorozhkin B. N., Dergacheva N. V., Anoshkina L. S., Safonova A. D., Krasnikov S. N. Promising models of potato varieties for Western Siberia and genetic sources of their implementation. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2007;(7):11-14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10365606>
8. Sintsova N. F., Sergeeva N. F. Potato breeding for early maturity in the North-East of Russia. Potato growing in Russia: actual problems of science and practice. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2007. pp. 87-91.
9. Simakov E. A., Anisimov B. V., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A. Varietal resources for intended potato growing. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2017;(11):24-26. (In Russ.). URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2018/11/11_2017.pdf

10. Kozlova L., Litviyak V., Melsitova I. Accumulation and morphology of the starch potatoes of the Belarusian selection. *Nauka i innovatsii* = The Science and Innovations. 2010;9(21):43-48. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28826085>
11. Lapshinov N. A., Gantimurova A. N., Kulikova V. I. Potato Breeding for Suitability to Processing. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(1):23-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10105>
12. Butov A. V., Mandrova A. A. The impact of physiological and biochemical processes in potatoes plants on accumulation of starch in tubers. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentral'noy Rossii* = Agro Central Russian Technologies. 2019;2(12):48-57. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38319908>
13. Dergacheva N. V., Sogulyak S. V. Dynamics of starch accumulation in early-ripening potato varieties and hybrids in the conditions of the forest-steppe zone of Western Siberia. Current problems of horticulture and potato growing: Proceedings of International distant scientific and practical conf. Chelyabinsk: FGBNU YuUNIISK, 2018. pp. 358-363.
14. Korshunov A. V. Potatoes of Russia. Moscow: OOO «Redaktsiya zhurnala «Dostizheniya nauki i tekhniki APK», 2003. In 3 vol. 331 p.
15. Liu Q., Weber E. Currie V., Yada R. Physiochemical properties of starches during potato growth. *Carbohydr. Polym.* 2003;51(2):213-221. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00138-8)
16. Leonel M., do Carmo E. L., Fernandes A. M., Soratto R. P., Ebúrneo Ju. A. M., Garcia É. L., Rodrigues dos Santos T. P. Chemical composition of potato tubers: influence of varieties and growth conditions. *Journal of Food Science and Technology*. 2017;54:2372-2378. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-017-2677-6>
17. Bebyakin V. M., Kulevatova T. B., Starichkova N. I. Methodical approaches, methods and criteria of plant autoadaptivity. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* = Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology. 2005;5(2):69-71. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11700278>
18. Bebyakin V. M., Zlobina L. N. The relationship between grain quality characteristics in durum wheat: seasonal and regional effects. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1995;(4):10-13. (In Russ.).

Сведения об авторах

Синцова Нина Фёдоровна, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5135-9978>

✉ **Лыскова Ирина Владимировна**, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

Кратюк Елена Ивановна, агроном-семеновод, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4795-4683>

Архипов Владислав Михайлович, лаборант-исследователь, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3098-5088>

Information about the authors

Nina F. Sintsova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5135-9978>

✉ **Irina V. Lyskova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>,

Elena I. Kratyuk, agronomist-seed grower, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4795-4683>

Vladislav M. Arkhipov, laboratory assistant researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3098-5088>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья

© 2022. И. Ф. Дёмина✉

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь,
Российская Федерация

Цель исследований – оценить влияние факторов погоды в 2016–2021 гг. на урожайность и качество зерна 18 сортов и 28 линий яровой мягкой пшеницы конкурсного сортоиспытания в условиях лесостепи Среднего Поволжья (Пензенская область). Для характеристики метеорологических условий были взяты среднесуточные температуры воздуха, количество атмосферных осадков и гидротермический коэффициент (ГТК). При анализе качества зерна использовали показатели – содержание белка и клейковины в зерне, сила муки, индексы качества сорта и фаринограммы теста. В результате исследований установлена отрицательная корреляция между урожайностью и температурой воздуха в июне $r = -0,518 \pm 0,128$ (фаза «выход в трубку»), чуть слабее в августе $r = -0,342 \pm 0,141$. Взаимосвязи урожайности с осадками и ГТК носили положительный характер. Средняя достоверная корреляция урожайности сложилась с осадками и ГТК за июнь $r = 0,509 \pm 0,130$ и $r = 0,552 \pm 0,126$ соответственно. Выявлена достоверная отрицательная корреляция между урожайностью и содержанием белка и клейковины в зерне: $r = -0,758 \pm 0,098$ и $r = -0,782 \pm 0,094$. Содержание белка и клейковины в зерне показали высокую значимую зависимость между собой – $r = 0,945 \pm 0,055$. Высокая положительная связь сложилась между содержанием белка и клейковины в зерне со среднесуточной температурой воздуха во второй половине вегетации в июле $r = 0,845 \pm 0,081$ и $0,902 \pm 0,065$, в августе $r = 0,858 \pm 0,080$ и $0,898 \pm 0,07$ соответственно. Отмечена слабая взаимосвязь урожайности с силой муки, индексами качества сорта и фаринограммы теста ($r = 0,354 \pm 0,148$, $0,402 \pm 0,138$ и $0,423 \pm 0,136$ соответственно). Осадки и высокий показатель ГТК во вторую половину вегетации снизили индексы качества сорта и фаринограммы теста, силу муки. Эта зависимость характеризовалась слабой отрицательной связью: от $r = -0,310 \pm 0,144$ до $r = -0,458 \pm 0,134$. Таким образом, на формирование урожайности и качественных показателей зерна яровой мягкой пшеницы оказали влияние температурный режим и количество атмосферных осадков во все периоды роста и развития растений.

Ключевые слова: содержание белка и клейковины в зерне, корреляция, гидротермический коэффициент, осадки, температура воздуха, сила муки

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема №FGSS-2022-0008).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дёмина И. Ф. Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):433–440.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440>

Поступила: 28.03.2022

Принята к публикации: 03.08.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Influence of weather conditions on the yield and quality of spring wheat grain in the forest-steppe of the Middle Volga region

© 2022. Irina F. Demina✉

Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The purpose of the research is to evaluate the influence of weather factors in 2016–2021 on the yield and quality of grain of 18 varieties and 28 lines of spring soft wheat of competitive variety trial in the conditions of forest-steppe of the Middle Volga (Penza region). To characterize the meteorological conditions, the average daily air temperatures, precipitation and hydrothermal coefficient (HTC) were taken. In the analysis of grain quality, the content of protein and gluten in the grain, as well as flour strength, quality indexes of the variety and farinograms of the dough were used. The result of the research stated the negative correlation between the yield and air temperature in June $r = -0.518 \pm 0.128$ («booting» phase), in August it was slightly weaker $r = -0.342 \pm 0.141$. Correlations of the yield with precipitation and HTC were positive. The average significant correlation of the yield was formed with precipitation and HTC in June: $r = 0.509 \pm 0.130$ and $r = 0.552 \pm 0.126$, respectively. A significant negative correlation was found between the yield and protein and gluten content in the grain: $r = -0.758 \pm 0.098$ and $r = -0.782 \pm 0.094$. The content of protein and gluten in the grain were almost functionally dependent on each other – $r = 0.945 \pm 0.055$. A high positive correlation has developed between the content of protein and gluten in the grain with the average daily air temperature in the second half of the growing season in July $r = 0.845 \pm 0.081$ and 0.902 ± 0.065 , in August: $r = 0.858 \pm 0.080$ and 0.898 ± 0.075 , respectively. Positive weak correlation was found between the yield and flour strength, variety quality indices and dough farinograms ($r = 0.354 \pm 0.148$, 0.402 ± 0.138 and 0.423 ± 0.136), respectively. Precipitation and a high rate of HTC in the second half of the growing season reduced the quality indices of the

variety and farinograms of the dough, the strength of the flour. This dependence was characterized by a weak negative relation-ship: from $r = -0.310 \pm 0.144$ to $r = -0.458 \pm 0.134$. Thus, the formation of yield and quality indicators of grain of spring soft wheat is influenced by the temperature regime and the amount of precipitation in all phases of growth and development of plants.

Keywords: protein and gluten content in the grain, correlation, hydrothermal coefficient, precipitation, air temperature, flour strength

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Scientific Center for Bast Fider Crops (theme No. FGSS-2022-0008).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citation: Demina I. F. Influence of weather conditions on the yield and quality of spring wheat grain in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(4):433-440. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440>

Received: 28.03.2022

Accepted for publication: 03.08.2022

Published online: 25.08.2022

Яровая пшеница является одной из основных культур, которая обеспечивает продовольственную безопасность страны [1, 2].

Создание новых современных сортов, способных давать высокие и стабильные урожаи с требуемыми технологическими качествами – одна из важных задач селекции яровой пшеницы. Несмотря на то, что культура имеет высокое хозяйственное значение в масштабах страны, урожайность и качество зерна пшеницы оставляет желать лучшего. Это указывает на то, что в производстве отсутствуют сорта с высокой продуктивностью, а у тех, которые используются, недостаточно изучены биологические особенности в конкретных почвенно-климатических зонах [3, 4, 5].

По мнению многих учёных, на долю сорта приходится 25 %, а то и 35–40 % прироста урожая, остальное определяется условиями окружающей среды – температурным режимом, атмосферными осадками, интенсивностью солнечного освещения во время восковой спелости, продолжительностью светового дня, числом дней с определённой температурой и т. д., а также устойчивостью к биотическим факторам и различной потребностью в элементах минерального питания [6, 7, 8].

Климат Среднего Поволжья характеризуется умеренной континентальностью. Его особенностью является наличие таких лимитирующих факторов, как проявление региональных типов засух, неравномерное распределение тепло- и влагоресурсов как по годам, так и в течение всего периода произрастания растений яровой мягкой пшеницы, сопровождающихся шквалистыми ветрами. В последнее время прослеживается тенденция к увеличению частых и продолжительных засух как ранней весной, так и в течение летнего периода [9, 10].

Несмотря на научно-технический прогресс, зависимость объёма и качества урожая от почвенно-климатических условий остаётся значительной и чем негативнее условия окружающей среды произрастания пшеницы, тем значительнее колебания урожайности по годам. Изменения внешней среды могут происходить случайно и закономерно. Закономерные факторы (смена сезонов года) вырабатывают генетическую приспособленность растений к данным условиям [11, 12, 13].

При нехватке минеральных удобрений и других химических средств основным ресурсом в повышении продуктивности и качества зерна пшеницы является подбор сортов, адаптированных к условиям среды [14].

Одностороннее направление селекции, только на повышение урожайности, может привести к снижению адаптивной способности, поскольку на формирование урожайности оказывают влияние факторы среды, поэтому возникает необходимость разработки системы сортов, которые по биологическим характеристикам будут взаимодополнять друг друга, что позволит стабилизировать зерновое производство [15, 16].

Цель исследований – изучение влияния факторов погоды на урожайность и качество зерна сортов и линий яровой мягкой пшеницы конкурсного сортоиспытания в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Научная новизна. Изучение взаимодействия генотипа образцов яровой мягкой пшеницы с основными агрометеофакторами обладает относительной новизной и даёт возможность создавать и внедрять в производство новые сорта, которые будут соответствовать высокому уровню урожая и его качества в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Материал и методы. Полевые опыты проводили в 2016-2021 гг. на полях Пензенского НИИСХ – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур». Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднесуглинистый. Пахотный горизонт имеет мощность 35-40 см. Среднее содержание гумуса в пахотном горизонте – 6,52 % (по Тюрину). Почвенная реакция среды слабокислая (рН 5,5). Содержание подвижного фосфора и калия 157 и 176 мг/кг почвы соответственно.

Посев проводили сеялкой СН-10Ц, предшественник – чистый пар. В исследованиях участвовало 18 сортов и 28 селекционных линий яровой мягкой пшеницы конкурсного сортоиспытания. Повторность опытов – 6-кратная, площадь делянок 10 м², норма высева 5,5 млн всх. семян на 1 га. Сев осуществляли в оптимальные для яровой пшеницы сроки (первая декада мая).

Для характеристики метеоусловий использованы данные Лунинской метеостанции – среднесуточные температуры воздуха и количество осадков. Гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) рассчитан по Г. Т. Селянину¹.

При анализе качества зерна использовали данные по содержанию белка и клейковины в зерне, а также информационно ёмкие показатели – сила муки, индексы качества сорта и фаринограммы теста. Содержание и качество клейковины определяли в соответствии с ГОСТ 54478-2012²; содержание белка – ГОСТ 26889-86³; силу муки – ГОСТ.Р 51415-99 (ИСО5530-4-91)⁴.

Индекс качества сорта (ИКС)⁵ и индекс фаринограммы теста (И_ф)⁶ рассчитывали по формулам:

$$\text{ИКС} = \sum_{i=1}^p (x_i/x_{i \text{ норм}}) \times q_i + \\ + \sum_{j=1}^t (x_j \text{ норм}/x_j) \times q_j,$$

где x_i – фактическое значение i -го показателя

качества, увеличение величины которого повышает качество; x_j – фактическое значение j -го показателя качества, увеличение величины которого снижает качество; $x_i \text{ норм}$, $x_j \text{ норм}$ – нормативные значения i , j -го показателей качества для сильной пшеницы; q_i , q_j – доли влияния i , j -го показателей качества на сопряжённую изменчивость базовых показателей; p , t – число показателей качества соответственно, с возрастанием величины которых качество сорта возрастает или уменьшается.

$$\text{И}_\phi = \sum_{i=1}^p (x_i/x_{i \text{ норм}}) \times q_i + (x_{4 \text{ норм}}/x_4) \times q_4,$$

где x_i – фактическое значение i -го показателя качества – компонента фаринограммы; x_4 – показатель разжижения теста; q_i , q_4 – доли влияния компонентов фаринограммы на сопряжённую изменчивость показателей качества.

Данные обработаны методом корреляционного анализа⁷ с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты исследований. Урожайность и её стабильность обусловлена параметрами агробиоценоза, которые, в свою очередь, зависят от взаимодействия растений с агроэкологическими факторами. Установлено, что тепло- и влагообеспеченность относятся к основным экологическим факторам, оказывающим существенное влияние на рост и развитие пшеницы в период вегетации.

Метеоусловия вегетационного периода яровой пшеницы в годы исследований были разнообразными. Острой засухой и высокими температурами воздуха характеризовался 2018 год. Выпадение осадков в течение вегетационного периода носило неравномерный характер 51,4 мм при среднемноголетних данных 112,5 мм. Среднесуточная температура воздуха имела показатель 20,8 °С, ГТК = 0,31. Урожайность (3,33 т/га) сформировалась за счёт осенне-зимних запасов влаги в почве и редких неравномерных осадков.

¹Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата: труды по сельхозметеорологии. 1928. Вып. 20. С. 169-178.

²ГОСТ 54478-2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины пшениц. М.: Стандартинформ: 2012. 23 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293792/4293792307.pdf>

³ГОСТ 26889-86. Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кьельдаля. М.: Стандартинформ, 2010. 8 с. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4294827/4294827626.pdf>

⁴ГОСТ Р.51415-99. (ИСО 5530-4-91). Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение реологических свойств с применением альвеографа. М.: Стандартинформ, 2001. С. 14.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294818/4294818700.pdf>

⁵Головоченко А. П. Методика расчёта индекса качества сорта. Кинель, 1999. 36 с.

⁶Васильчук Н. С. Оценка реологических свойств крупки твёрдой пшеницы на фаринографе. Тез.докл. НПК «Проблемы повышения качества зерна». Саратов: НИИСХ Юго-Востока, 1997. С. 16-19.

⁷Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. М., 1985. 351 с.

В 2016 и 2020 годах сложились наиболее благоприятные погодные условия для развития растений яровой пшеницы – ГТК = 1,1 и 1,11, урожайность составила 1,54 и 2,70 т/га соответственно, 2017, 2019 и 2021 годы характеризовались засухой с разной интенсивностью её проявления – ГТК = 0,78, 0,80 и 0,85 соответственно (урожайность 3,10, 4,89 и 2,95 т/га).

За шестилетний период исследований в температурном режиме были отмечены значительные изменения. Среднесуточная температура воздуха (19,0 °C), по сравнению со среднемноголетней, повысилась на 0,7 °C, с варьированием по месяцам от 0,1 до 2,7 °C. Зависимость продуктивности от погодных условий подтверждается и результатами корреляционного анализа (табл. 1).

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции урожайности сортов яровой мягкой пшеницы со среднемесячной температурой воздуха, количеством осадков и ГТК (2016-2021 гг.) /
Table 1 – Correlation coefficients between the yield of spring wheat varieties and the average monthly air temperature, precipitation and HTC (2016-2021)

Коррелирующие признаки / Correlating features		Коэффициент корреляции / Correlation coefficient
Среднемесячная температура воздуха / Average monthly air temperature	Май / May	-0,495±0,131***
	Июнь / June	-0,518±0,128***
	Июль / July	-0,382±0,139*
	Август / August	-0,342±0,139*
Осадки / Precipitation	Май / May	0,185±0,148
	Июнь / June	0,509±0,130***
	Июль / July	0,336±0,142*
	Август / August	0,342±0,139*
ГТК / HTC	Май / May	0,129±0,149
	Июнь / June	0,552±0,126***
	Июль / July	0,453±0,134**
	Август / August	0,435±0,136**

* Значимо при $P \leq 0,05$; ** при $P \leq 0,01$; *** при $P \leq 0,001$ /

* Significant at $P \leq 0.05$; ** at $P \leq 0.01$; *** at $P \leq 0.001$

Влияние температурного режима на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы неоспоримо, поэтому при оценке тепловых ресурсов принимается во внимание биологическая потребность растений в тепле и сумма активных температур вегетационного периода. Температура влияет на все жизненные функции растений. Понижение температуры воздуха приводит к обогащению растений растворимыми углеводами, более мощному развитию вегетативной массы и лучшему использованию минеральных элементов, а её повышение ухудшает условия углеродного питания, что оказывает влияние на накопление белка в зерне.

Максимальная урожайность генотипа возможна при конкретном оптимальном температурном режиме. Для развития зерновки температура воздуха при благоприятном воздействии других факторов, и особенно интен-

сивности освещения и увлажнения, должна находиться в пределах 15-20 °C. Дальнейший рост температуры (до 25 °C) приводит к старению ассимиляционного аппарата верхней части растения, затем происходит ослабление накопления продуктов ассимиляции и перевода их в зерновки, что ведёт к уменьшению урожайности и мукомольных качеств [17].

Из данных таблицы 1 видно, что между урожайностью и среднесуточной температурой за период «посев-восковая спелость» получена отрицательная корреляционная связь. Наиболее существенной она отмечена в июне $r = -0,518 \pm 0,128$ (выход в трубку), который считается критическим периодом в онтогенезе яровой пшеницы, а чуть слабее в августе $r = -0,342 \pm 0,139$.

Наблюдения за режимом увлажнения в период исследований позволило выявить изменения распределения количества осадков

по месяцам в сравнении со среднегодовыми значениями. В среднем за период вегетации яровой пшеницы выпало 138,7 мм осадков. Минимальный показатель отмечен в 2018 году – 51,4 мм, максимальный в 2020 году – 185,7 мм при среднегодовой норме 193,4 мм. Распределение их по межфазным периодам развития яровой пшеницы носило неравномерный характер.

Осадки и ГТК мая не оказывали существенного влияния на формирование урожайности $r = 0,185 \pm 0,148$ и $r = 0,129 \pm 0,149$. Очень важным в отношении влагообеспеченности является период «кущение-колошение» яровой мягкой пшеницы. В это время проходит кущение растений (третий этап органогенеза – сегментация колосового стержня) и особенно важная фаза трубкования (спорогенез и гаметогенез).

Недостаток влаги в данный период отрицательно сказывается на развитии растений.

Взаимосвязи урожайности с осадками и ГТК носили положительный характер. Средняя достоверная корреляция урожайности с осадками и ГТК за июнь сложилась $r = 0,509 \pm 0,130$ и $r = 0,552 \pm 0,126$ соответственно.

Со всеми другими периодами была выявлена слабая связь. Полученные корреляционные зависимости указывают на то, что урожайность яровой пшеницы в большей степени зависит от распределения количества осадков по периодам вегетации (период «всходы-колошение»), температурного режима и т. д., чем от общего количества осадков.

Рассчитаны парные коэффициенты корреляции погодных условий с показателями качества зерна яровой мягкой пшеницы (табл. 2).

Таблица 2 – Корреляция показателей качества зерна яровой мягкой пшеницы с урожайностью и агроклиматическими факторами, 2016-2021 гг. /

Table 2 – Correlation of grain quality indicators of spring soft wheat with yield and agro-climatic factors (2016-2021)

Показатель / Indicator	Содержание в зерне / Content in grain		Индекс качества сорта / Variety quality index	Индекс фаринограммы теста / Pharynogram index of the flour	Сила муки / Flour strength
	клейковины / gluten	белка / protein			
Урожайность / Yield	-0,758±0,098***	-0,782±0,094***	0,402±0,138**	0,423±0,136**	0,354±0,141**
Температура / Temperature					
Май / May	0,105±0,150	0,097±0,150	0,556±0,125**	0,515±0,128**	0,475±0,132**
Июнь / June	0,114±0,148	0,103±0,150	0,403±0,138*	0,472±0,132**	0,412±0,137**
Июль / July	0,845±0,081***	0,902±0,065***	0,236±0,146	0,198±0,147	0,214±0,142
Август / August	0,858±0,080***	0,898±0,075***	0,222±0,147	0,168±0,149	0,228±0,147
Осадки / Precipitation					
Май / May	-0,575±0,125**	-0,512±0,128**	-0,058±0,150	-0,025±0,152	-0,036±0,151
Июнь / June	0,495±0,131***	-0,458±0,138**	-0,038±0,152	-0,039±0,152	-0,048±0,150
Июль / July	-0,025±0,153	-0,038±0,153	-0,325±0,142*	-0,310±0,144*	-0,319±0,143*
Август / August	-0,045±0,152	-0,031±0,153	-0,323±0,142*	-0,318±0,144*	-0,325±0,142*
ГТК / HTC					
Май / May	-0,682±0,110***	0,552±0,125**	0,108±0,150	-0,045±0,150	0,057±0,150
Июнь / June	0,585±0,122***	0,510±0,130***	0,084±0,148	-0,055±0,150	0,067±0,144
Июль / July	-0,015±0,135	-0,026±0,153	-0,458±0,134**	-0,423±0,136*	-0,410±0,137*
Август / August	-0,025±0,153	-0,039±0,152	-0,429±0,136*	-0,445±0,135*	-0,411±0,135*

* Значимо при $P \leq 0,05$; ** при $P \leq 0,01$; *** при $P \leq 0,001$ /

* Significant at $P \leq 0.05$; ** at $P \leq 0.01$; *** at $P \leq 0.001$

Подтверждена достоверная отрицательная корреляция между урожайностью и содержанием белка и клейковины в зерне: $r = -0,758 \pm 0,098$ и $r = -0,782 \pm 0,094$ соответственно. Содержание белка и клейковины в зерне имели между

собой корреляционную связь, близкую к единице – $r = 0,945 \pm 0,055$. Доподлинно известно, что урожайность зависит от продуктивности растений, которая в свою очередь складывается из массы зерновок, находящихся, в основном,

в эндосперме. При оптимальных условиях максимальное количество питательных веществ преобразуется в крахмал эндосперма, что приводит к понижению величины белка в зерне пшеницы. Высокий температурный режим и недостаток влаги в период налива зерна тормозят нормальную деятельность ассимиляционного аппарата растения и в то же время усиливают процесс дыхания и расход углеводов, что приводит к накоплению белка в зерне.

По нашим данным, содержание белка и клейковины в зерне имели отрицательную связь с выпадением осадков на протяжении всего роста и развития растений пшеницы. Значимая связь, близкая к функциональной, была отмечена между содержанием белка и клейковины в зерне со среднесуточной температурой воздуха в период налива зерна в июле $r = 0,845 \pm 0,081$ и $0,902 \pm 0,065$, в августе $r = 0,858 \pm 0,080$ и $0,898 \pm 0,075$ соответственно.

Содержание белка и клейковины в зерне имели низкую корреляционную связь, близкую к нулю, с силой муки, индексами качества сорта и фаринограммы теста.

Отмечена слабая взаимосвязь урожайности с силой муки, индексами качества сорта и фаринограммы теста ($r = 0,354 \pm 0,141$, $0,402 \pm 0,138$ и $0,423 \pm 0,136$ соответственно). Это говорит о том, что с повышением урожайности качество зерна, хотя и в слабой степени, но возрастает.

Средняя положительная связь силы муки, индексов качества сорта и фаринограммы теста была выявлена со среднесуточной температурой мая и июня, низкая – со среднесуточной температурой июля и августа.

Осадки и высокий показатель ГТК во вторую половину вегетации снижали индексы качества сорта и фаринограммы теста, силу муки. Эта зависимость характеризовалась слабой отрицательной связью – от $r = -0,310 \pm 0,144$ до $r = -0,458 \pm 0,134$.

Заключение. Таким образом, важную роль в формировании урожая яровой мягкой пшеницы и его качества в условиях лесостепи Среднего Поволжья играет температурный фон, который действует на все жизненные функции растений. Коэффициент корреляции урожайности со среднесуточной температурой воздуха носил отрицательный характер, наиболее высокие значения отмечены в период «кущение-колошение».

Положительная связь урожайности выявлена с осадками и гидротермическим коэффициентом. Наибольшее значение связь имела в июне, в другие месяцы она была слабее. Это указывает на то, что продуктивность яровой мягкой пшеницы зависит от распределения осадков по фазам развития яровой пшеницы, от температуры воздуха в фазы активной вегетации, а также в период налива и созревания зерна.

На формирование содержания белка и клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы оказали влияние количество осадков в период вегетативной стадии развития растений (май, июнь), температура воздуха – в период репродуктивной стадии (июль, август). На другие показатели качества – индексы качества сорта и фаринограммы теста, силы муки – существенное влияние оказали среднесуточная температура в первую стадию развития растений пшеницы и во вторую – количество осадков и гидротермический коэффициент.

Список литературы

1. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции. Зерновое хозяйство России. 2016;(3(43)):31-37. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26642951>
2. Амунова О. С., Волкова Л. В., Зуев Е. В., Харина А. В. Исходный материал для селекции яровой пшеницы в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(5):661-675. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675>
3. Šramková Z., Gregová E., Šturdika E. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. ActaChimica Slovaca. 2006;2(1):115-138.
4. Некрасова О. А., Подгорный С. В., Скрипка О. В., Самофалов А. П., Громова С. Н., Чернова В. Л., Кравченко Н. С. Результаты изучения селекционных линий озимой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании по урожайности и качеству зерна. Зерновое хозяйство России. 2019;(2):32-34. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-32-37>
5. Некрасова Е. И., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Рыбась И. А., Гричаникова Т. А., Романюкина И. В., Копусь М. М. Оценка урожайности и качества зерна сортов озимой мягкой пшеницы в условиях Ростовской области. Таврический вестник аграрной науки. 2019;(4(20)):79-85. DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-4-20-79-85>

6. Кочетов В. К. Сорт озимой пшеницы – основной фактор увеличения продуктивности и получения зерна и муки заданного качества. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012;(75):1025-1036.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17305519>
7. Кондратенко Е. П., Егушова Е. А. Сравнительная характеристика урожайности и качества сортов яровой пшеницы на серых лесных почвах. Вестник КрасГАУ. 2016;(6):105-112.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26178709>
8. Kucerova J. Some correlations between parameters of winter wheat technological quality/ Acta Univ. Agr. Silvicult. Mendelianae – Brunensis. 2006;54(1):23-29. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun200654010023>
9. Nikotra A. B., Atkin O. K., Bonser S. P., Davidson A. M., Finnegan E. J., Mathesius U., Poot P., Purugganan M. D., Richards C. L., Valladares F., van Kleunen M. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. Trends Plant Sci. 2010;15(12):684-692. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.008>
10. Кривобочек В. Г. Итоги и перспективы селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья. Пенза: Пензенский ГАУ, 2018. 180 с.
11. Галеев Р. Р., Самарин И. С., Андреева З. В. Влияние погодных условий на урожайность и качество мягкой яровой пшеницы в интенсивном земледелии лесостепи Новосибирского Приобья. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2017;(4(45)):9-15.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32273946>
12. Никулин А. Ф., Кадиков Р. К., Исмагилов Р. Р. Отзывчивость сортов яровой мягкой пшеницы на изменения условий вегетации. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2012;(4):7-11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18293838>
13. Самофалова Н. Е., Дубинина О. А., Самофалов А. П., Иличкина Н. П. Роль метеофакторов в формировании продуктивности озимой твердой пшеницы. Зерновое хозяйство России. 2019;(5):18-23.
DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-65-5-18-23>
14. Евдокимов М. Г., Юсов В. С., Пахотина И. В. Зависимость урожайности и качества зерна твердой яровой пшеницы от метеорологических факторов в южной лесостепи Западной Сибири. Зерновое хозяйство России. 2020;(5):26-31. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-71-5-26-31>
15. Чекмарев В. В. Погодные условия и урожайность яровой пшеницы. Зерновое хозяйство России. 2012;(1):27-29.
16. Шаболкина Е. Н., Чичкин А. П. Влияние условий выращивания на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы в степном Заволжье. Зерновое хозяйство России. 2012;(1):55-59.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17574692>
17. Захарова Н. Н., Захаров В. Г. Посевные качества и полевая всхожесть семян яровой мягкой пшеницы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(4(36)):17-23.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27632768>

References

1. Goncharenko A. A. Ecological stability of grain crop varieties and tasks of breeding. Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia. 2016;(3(43)):31-37. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26642951>
2. Amunova O. S., Volkova L. V., Zuev E. V., Kharina A. V. Source for the breeding of soft spring wheat in the conditions of Kirov region. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(5):661-675. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675>
3. Šramková Z., Gregová E., Šturdík E. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. Acta Chimica Slovaca. 2006;2(1):115-138.
4. Nekrasova O. A., Podgornyy S. V., Skripka O. V., Samofalov A. P., Gromova S. N., Chernova V. L., Kravchenko N. S. The study results of productivity and grain quality of the breeding lines of winter soft wheat in the competitive variety-testing. Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia. 2019;(2):32-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-32-37>
5. Nekrasova E. I., Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Rybas I. A., Grichanikova T. A., Romanyukina I. V., Kopus M. M. Estimation of productivity and grain quality of winter soft wheat varieties in the Rostov region. Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki = Taurida herald of the agrarian sciences. 2019;(4(20)):79-85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-4-20-79-85>
6. Kochetov V. K. Variety of winter wheat – the principal factor in increasing productivity and obtaining a given grain and flour quality. Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2012;(75):1025-1036. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17305519>
7. Kondratenko E. P., Egushova E. A. Comparative characteristics of yield and grain quality of spring wheat varieties on gray forest soils. Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU. 2016;(6):105-112. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26178709>

8. Kucerova J. Some correlations between parameters of winter wheat technological quality/ ActaVniv. Agr. Silvicult. Mendeliana – Brunensis. 2006;54(1):23-29. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun200654010023>
9. Nikotra A. B., Atkin O. K., Bonser S. P., Davidson A. M., Finnegan E. J., Mathesius U., Poot P., Puruganan M. D., Richards C. L., Valladares F., van Kleunen M. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. Trends Plant Sci. 2010;15(12):684-692. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.008>
10. Krivobochech V. G. Results and prospects of spring soft wheat breeding in the forest-steppe of the Middle Volga region. Penza: Penzenskiy GAU, 2018. 180 p.
11. Galeev R. R., Samarin I. S., Andreeva Z. V. Influence of climate conditions on the crop yield and quality of spring wheat in intensive farming of the forest-steppe of Novosibirsk Ob zone. Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2017;(4(45)):9-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32273946>
12. Nikulin A. F., Kadikov R. K., Ismagilov R. R. Responsiveness of the sorts of soft spring wheat to changes of vegetation conditions. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik Bashkir State Agrarian University. 2012;(4):7-11. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18293838>
13. Samofalova N. E., Dubinina O. A., Samofalov A. P., Ilichkina N. P. The meteorological factors' part in winter durum wheat productivity formation. Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia. 2019;(5):18-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-65-5-18-23>
14. Evdokimov M. G., Yusov V. S., Pakhotina I. V. Correlation between productivity and grain quality of spring durum wheat and meteorological factors in the southern forest-steppe of the Western Siberia. Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia. 2020;(5):26-31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-71-5-26-31>
15. Chekmarev V. V. Weather conditions and productivity of spring wheat. Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia. 2012;(1):27-29. (In Russ.).
16. Shabolkina E. N., Chichkin A. P. Effect of fertilizers on the protein content of spring wheat and its yielding capacity under the conditions of mid. Povolzh'ye. Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia. 2012;(1):55-59. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17574692>
17. Zakharova N. N., Zakharov V. G. Seeding qualities and field germination of spring soft wheat seeds. Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2016;(4(36)):17-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27632768>

Сведения об авторе

✉ **Дёмина Ирина Фёдоровна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, Пензенский НИИСХ – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мичурина, 1«Б», р. п. Лунино, Пензенская обл., Российская Федерация, 442731, e-mail: info.pnz@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0118-5492>, e-mail: deminaif@mail.ru

Information about the author

✉ **Irina F. Demina**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Selection Technologies, separate subdivision, Penza, Research Institute for Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, Michurin str., 1«B», Lunino settlement, Penza region, Russian Federation, 442731, e-mail: info.pnz@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0118-5492>, e-mail: deminaif@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Выращивание мини-клубней картофеля в двух оборотах защищенного грунта в условиях РСО-Алания

© 2022. К. Т. Етдзаева, Е. В. Овэс✉

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха»,
г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация

Цель проводимых исследований – выращивание мини-клубней картофеля в двух оборотах защищенного грунта с использованием в качестве посадочного материала микрорастений и микроклубней *in vitro*. Опыты проводили в 2019-2021 гг. на Северном Кавказе в Республике Северная Осетия-Алания. Исходный *in vitro* материал высаживали в весеннем (апрель-июнь) и летнем (август-октябрь) оборотах в поликарбонатных теплицах в 5 л горшках с торфяным субстратом. Объектом для исследований являлись сорта картофеля Гулливер, Садон и Кумач. В качестве вариантов для закладки опыта использовали микрорастения (контроль), микроклубни стандартные (размер > 9 мм в диаметре) и нестандартные (5-9 мм). По результатам проводимых биометрических наблюдений в период от образования всходов до достижения 20 см отмечено присутствие в вариантах с применением микроклубней невыравненности по высоте растений. В весеннем обороте выращивание мини-клубней из микрорастений способствовало формированию 6,9-8,0 шт/растение при выходе стандартной фракции 6,1-7,2 шт. Продуктивность в вариантах с посадкой микроклубней размером 5-9 мм снизилась в 1,6-1,9 раза по сравнению с микрорастениями. В летней культуре растения сформировали от 3,5 до 6,5 мини-клубней при выходе стандартной семенной фракции 53-72 %. Микроклубни размером > 9 мм сортов Гулливер и Кумач летней посадки отмечены более продуктивными, чем микрорастения. В среднем они сформировали 6,1-6,7 шт. на растение, что превысило контрольный вариант на 0,8-2,1 шт. По результатам проводимых исследований, общее количество сформированных мини-клубней при летней посадке получено в 1,2-1,4 раза ниже, чем при весенней. Применение двух оборотов в процессе выращивания мини-клубней в защищенном грунте способствовало увеличению количественного выхода производимого семенного материала за вегетационный сезон в 1,7 раза.

Ключевые слова: *Solnum tubersum* L., оригинальное семеноводство, микрорастения, микроклубни, мини-клубни, защищенный грунт, весенний оборот, летний оборот

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» (тема № FGGM -2022-0010).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Етдзаева К. Т., Овэс Е. В. Выращивание мини-клубней картофеля в двух оборотах защищенного грунта в условиях РСО-Алания. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):441-449.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.441-449>

Поступила: 15.06.2022

Принята к публикации: 27.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Production of mini potato tubers in two rotations of protected ground in the conditions of North Ossetia-Alania

© 2022. Kristina T. Etdzaeva, Elena V. Oves ✉

Russian Potato Research Centre, Moscow region, Russian Federation

The aim of the research was to grow potato mini-tubers in two crop rotations of protected ground using micro-plants and micro-tubers *in vitro* as planting material. The experiments were carried out in 2019-2021 in the Republic of North Ossetia-Alania (the North Caucasus). The initial *in vitro* material was planted in spring (April-June) and summer (August-October) rotations in 5 L pots filled with peat substrate. The pots were placed in polycarbonate-lined greenhouses. The objects for the research were the potato varieties Gulliver, Sadon and Kumach. Microplants (control), standard (> 9 mm) and non-standard (5-9 mm) micro-tubers were used as variants for laying the experiment. According to the results of biometric observations in the period from sprouting to the plants reaching 20 cm, the presence of unevenness in plant height was noted in the variants with the use of micro-tubers. In the spring rotation, the cultivation of mini-tubers from microplants contributed to the formation of 6.9-8.0 pcs/plant with a standard fraction yield of 6.1-7.2 pcs. Productivity in variants with planting micro-tubers of 5-9 mm in size decreased by 1.6-1.9 times compared with micro-plants. In the summer rotation, the plants formed from 3.5 to 6.5 mini-tubers with a standard seed fraction yield of 53-72 %. Microtubers > 9mm (potato varieties: Gulliver and Kumach) in summer planting were more productive than micro-plants. On average, they formed 6.1-6.7 pcs/plant, which exceeded the control variant by 0.8-2.1 pcs. According to the results of the research, the total number of formed mini-tubers during summer rotation was 1.2-1.4 times lower than during spring rotation. The use of two rotations in the process of growing mini-tubers in protected ground contributed to an increase in the quantitative yield of produced seed material for the growing season by 1.7 times.

Keywords: *Solnum tubersum* L., original seed production, micro-plants, micro-tubers, mini-tubers, protected ground, spring rotation, summer rotation

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Russian Potato Research Centre (theme No. FGGM -2022-0010).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citations: Etgzaeva K. T., Oves E. V. Production of mini potato tubers in two rotations of protected ground in the conditions of North Ossetia-Alania. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):441-449. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.441-449>

Received: 15.06.2022

Accepted for publication: 27.07.2022

Published online: 25.08.2022

Выращивание качественного семенного материала картофеля начинается с ускоренного клонального размножения биоматериала в культуре ткани. В процессе его использования в оригинальном семеноводстве в основном применяют микрорастения [1, 2]. Их практическая заключается в ускоренном клональном размножении и выращивании необходимого объема исходного материала для высадки на субстрат [3]. При этом технология получения мини-клубней из микрорастений характеризуется сезонностью и высокими материальными затратами труда в период высадки на почвенный субстрат.

Длительность культивирования *in vitro* материала в культуре ткани и применяемые операционные процедуры в процессе тиражирования отражаются на показателе адаптивности растений при высадке на субстрат.

При пересадке в грунт биоматериал испытывает глубокий стресс, который длится до тех пор, пока не закончится переадаптация растений к новым условиям, что негативно влияет на весь последующий онтогенез, включая клубнеобразование [4].

В качестве альтернативного способа использования здорового материала для выращивания мини-клубней могут быть использованы микроклубни *in vitro*. Преимущество применения микроклубней заключается в отсутствии сезонности при их получении, возможности длительного хранения и высокой практической при транспортировке и высадке в защищенный грунт [5, 6].

Формирование микроклубней зависит, прежде всего, от генотипических особенностей сорта, а также от фотопериода, температуры и состава питательных сред [7, 8, 9]. Применение микроклубней в процессе выращивания мини-клубней отражено в результатах многих исследований. Результаты сравнительной оценки их использования в качестве исходного материала имеют противоречивый характер. Ряд авторов показывают преимущество использования микроклубней по количественному выходу мини-клубней [10, 11], другие отмечают, что применение исходного материала различного происхождения существенно не различается [6, 12], есть результаты,

отражающие проявление более высокого выхода стандартной фракции у растений из микроклубней [13, 14, 15].

В процессе выращивания исходного материала в южных регионах в вегетационный период применяются элементы технологий, позволяющие организовать производство мини-клубней в нескольких оборотах. В условиях РСО-Алания безморозный период превышает 180 дней. Средние температуры января колеблются от -10 до +6 °С, и зима длится всего лишь два-три месяца. Остальное время года занимают переходные сезоны — весна и осень, что является благоприятным фактором для выращивания картофеля в культивационных сооружениях. Средняя температура июля превышает 20 °С, лето продолжается от 4,5 до 5,5 месяца. Природно-климатические условия региона позволяют организовать и использовать для выращивания мини-клубней два оборота защищенного грунта.

В весеннем обороте растения лучше развиваются, чем при летних посадках [16]. Это объясняется как увеличением светового дня, так и умеренными дневными температурами при высадке в защищенный грунт. Однако наряду с преимуществами использования технологии выращивания мини-клубней в весенней культуре присутствуют и недостатки. Главным образом к ним относятся пониженные температуры в ночное время суток в начальный период роста и высокие дневные температуры в период клубнеобразования. В то время как в летней культуре адаптация микрорастений при высадке на субстрат происходит при повышенных температурах, но урожай клубней формируется при более благоприятных условиях.

Цель исследований — изучение продуктивности исходного материала картофеля в виде микрорастений и микроклубней *in vitro* при выращивании мини-клубней в двух оборотах защищенного грунта в условиях Республики РСО-Алания.

Научная новизна — оптимизирован технологический процесс выращивания мини-клубней в защищенном грунте в условиях Северного Кавказа с применением *in vitro* материала различного происхождения и разных сроков высадки исходного материала, способству-

ющий увеличению количественного выхода мини-клубней за вегетационный период.

Материал и методы. Для закладки вегетационных опытов использовали микро-растения и микроклубни *in vitro* новых перспективных сортов разных групп спелости: Гулливер – ранний, Садон – среднеранний и Кумач – среднеспелый. Опыты закладывали в поликарбонатных теплицах в горшках с торфяным субстратом объемом 5 л в двух оборотах – весенний и летний. В весеннем обороте посадку исходного материала проводили согласно агросрока во второй-третьей декадах апреля с уборкой в конце июня. Для летней посадки материал высаживали в начале августа и убирали по мере воздействия заморозков, которые приходятся на середину ноября. Исследования проводили в 2019-2021 гг. в тепличном комплексе на базе семеноводческой компании ООО «Фат-Агро», варианты опыта включали: микро-растения (МР), микроклубни (МК) стандартные, размером > 9 мм в диаметре и нестандартные – 5-9 мм. Опыты в весенней и летней культуре закладывали в 4-кратной повторности по 20 учетных растений. В рамках каждого оборота проводили биометрические и фенологические наблюдения. По каждому сорту и варианту в период уборки урожая проводили сортировку, подсчет и взвешивание мини-клубней. Технология выращивания

растений в защищенном грунте общепринятая для региона.

Результаты и их обсуждение. Основными показателями, характеризующими адаптивную способность *in vitro* материала после его высадки в защищенный грунт, являются приживаемость микро-растений и всхожесть микроклубней. По результатам проведенных наблюдений, данные параметры в весеннем обороте зависели от происхождения *in vitro* материала. Независимо от сроков высадки исходного материала в защищенном грунте приживаемость микро-растений составила 100 %, всхожесть микроклубней варьировала в незначительных пределах у стандартной фракции 98-100 % и 93-95 % у нестандартной. Полные всходы в вариантах с применением микроклубней *in vitro* были отмечены на 20-й день. Микроклубни формировали невыравненные всходы, и такие растения в начальный период роста более чем в два раза уступали по высоте контрольному варианту. Дальнейшее развитие приводило к улучшению показателя «выравненность растений» из микроклубней, но по высоте они все еще уступали контролю.

Растения из микроклубней размером > 9 мм в диаметре на первом этапе роста (20-40 день) существенно уступали контрольному варианту, оценка на 50-й день от посадки показывает присутствие выравнивания растений по высоте (табл. 1).

Таблица 1 – Развитие микро-растений и микроклубней картофеля в весенней культуре (среднее за 2019-2021 гг.) /
Table 1 – The growth of micro-plants and micro-tubers of potatoes during spring planting period (2019-2021)

Сорт / Variety	Вариант / Variant	Всхо- жесть, % / Germination, %	Высота растений, см / Plant height, cm				Стеблей, шт/растение / Stems, pcs/plant	Масса ботвы, г/растение / Mass of green mass, g/plant
			20*	30	40	50		
Гулливер / Gulliver	МР – контроль / Micro-plants – control	99,6	11,8	22,8	32,6	49,6	1,9	164,3
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	98,6	7,5	12,3	25,1	48,8	2,1	183,0
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	93,0	5,5	10,4	22,5	36,8	1,0	124,0
Садон / Sadon	МР – контроль / Micro-plants – control	100,0	14,2	28,4	38,2	51,3	1,4	184,7
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	100,0	9,7	19,2	34,1	47,1	1,6	188,0
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	95,3	5,2	10,4	20,5	38,6	1,0	121,3
Кумач / Kumach	МР – контроль / Micro-plants – control	99,6	15,6	26,4	40,0	52,4	2,0	203,3
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	98,0	10,4	19,4	32,2	49,0	2,1	209,6
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	94,3	7,6	12,3	22,3	36,1	1,4	138,7

* Количество дней от посадки / Number of days from planting

В защищенном грунте при выращивании мини-клубней большое влияние на продуктивность растений оказывает количество сформированных стеблей. В сложившейся практике из одного микрорастения обычно получают один стебель, однако в настоящее время разработаны технологические элементы, позволяющие повысить данный показатель. Применение микроклубней может увеличить количество сформированных стеблей до 2,5 шт.

В вариантах с применением микрорастений исследуемые сорта картофеля формировали 1,4-2,0 стебля. Использование для посадки стандартных микроклубней не увеличило количество стеблей (1,6-2,1 шт/растение), в то время как микроклубни не стандартной фракции уменьшили их количество по сравнению с контрольным вариантом в 1,4 раза.

Формирование биомассы в исследуемых вариантах варьировало в незначительных пределах и в годы исследований составило 164,3-203,3 г для микрорастений и 183,0-209,6 г для стандартных микроклубней. Наибольшие показатели биомассы отмечены у сорта Кумач.

Выращивание исходного материала в летней посадке в целом проходило с соблюдением тех же закономерностей, что и в весенней: приживаемость микрорастений составила 98-100%, всхожесть микроклубней – 98-100%, наблюдалась не выравненность в развитии растений из микроклубней на первом этапе роста. В среднем растения сформировали по 1-2 стебля (табл. 2). Биомасса при летней посадке оказалась меньше, чем в весенней и составила 134-174 г для микрорастений и 150-184 г – для стандартных микроклубней.

Таблица 2 – Параметры роста и развития *in vitro* материала картофеля в летней культуре (среднее за 2019-2021 гг.) /

Table 2 – *In vitro* growth and development parameters of potatoes the material during the summer planting period (2019-2021)

Сорт / Variety	Вариант / Variant	Всхо- жесть, % / Germination, %	Высота растений, см / Plant height, cm				Стеблей, шт/растение / Stems, pcs/plant	Масса ботвы, г/растение / Mass of green mass, g/plant
			20*	30	40	50		
Гулливер / Gulliver	МР – контроль / Micro-plants – control	98,3	6,2	15,4	23,7	36,8	1,7	160,0
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	99,7	3,8	14,2	23,8	35,1	1,7	172,3
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	97,0	2,4	10,9	17,4	22,2	1,1	91,3
Садон / Sadon	МР – контроль / Micro-plants – control	100,0	5,5	12,7	21,7	35,0	1,4	133,7
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	98,3	4,0	11,4	18,5	33,9	1,5	150,3
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	97,7	2,3	8,1	16,4	22,2	1,0	78,7
Кумач / Kumach	МР – контроль / Micro-plants – control	99,3	5,7	12,9	24,5	39,6	2,0	174,0
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	99,7	4,3	10,4	20,6	38,5	2,1	183,7
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	94,0	2,8	8,1	13,1	21,6	1,0	89,3

* Количество дней от посадки / Number of days from planting

По результатам проводимой биометрической оценки при выращивании микрорастений в двух оборотах защищенного грунта наиболее благоприятные условия для роста и развития складывались при весенней посадке. В летнем обороте микрорастения сортов Садон и Кумач сформировали в 1,2-1,4 раза меньше

биомассы. Использование в качестве посадочного материала стандартных микроклубней не повлияло на показатели формирования биомассы, в то время как применение нестандартной фракции привело к уменьшению параметров роста и развития в 1,7-1,9 раза по сравнению с контрольным вариантом.

Производственный эффект по итогам выращивания исходного материала в теплицах определяется количественным выходом мини-клубней. Продуктивность зависит от сортовых особенностей, качества высаженного *in vitro* материала, сроков посадки и технологии выращивания.

В весеннем обороте использование микрорастений и стандартных микроклубней в качестве посадочного материала способ-

ствовало формированию от 6,9 до 8,4 мини-клубней на растение. Наибольший выход стандартной семенной фракции отмечен в контрольном варианте (88-90 %). Применение нестандартных микроклубней привело к снижению количества сформированных мини-клубней в 1,6-1,9 раза, тем не менее, эти растения сформировали по 3,7-5,4 шт/растение при выходе стандартной фракции 59,5-65,1% (табл. 3).

Таблица 3 – Продуктивность исходного материала картофеля в весеннем обороте (среднее за 2019-2021 гг.) /
Table 3 – Productivity of the initial material of potato during spring rotation (average for 2019-2021)

Сорт / Variety	Вариант / Variant	Количество клубней, шт. / Number of tubers, pcs.			Выход стандарт- ной фракции, %/ Yield of the seed fraction, %
		всего/ in total	в том числе / including		
			стандартные / standard	нестандартные / non-standard	
Гулливер/ Gulliver	МР – контроль / Micro-plants – control	8,0	7,2	0,8	90,0
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	8,4	7,0	1,4	83,3
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	5,4	3,3	2,1	61,1
Садон / Sadon	МР – контроль / Micro-plants – control	6,9	6,2	0,7	89,8
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	7,1	6,4	0,7	90,1
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	4,3	2,8	1,5	65,1
Кумач / Kumach	МР – контроль / Micro-plants – control	6,9	6,1	0,8	88,4
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	8,0	7,1	0,9	88,7
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	3,7	2,2	1,5	59,5
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		0,72	0,66	-	-

По результатам проводимой статистической обработки данных, варианты с использованием микроклубней > 9 мм сорта Кумач достоверно превысили на 1,1 шт. количества мини-клубней по сравнению с контрольным.

Важным показателем сформированных мини-клубней является их выход стандартных размеров [15]. В весенней культуре применение исходного материала в виде микрорастений и микроклубней >9 мм не отразилось на общем выходе мини-клубней стандартной фракции сортов Гулливер и Садон, вариант с использованием микроклубней сорта Кумач достоверно превысил контроль на 1,0 шт/растение. Мелкая фракция микроклубней в варианте МК 5-9 мм сформировала в 2,1-2,8 раза меньше стандартных мини-клубней.

В летней культуре исследуемые сорта картофеля по продуктивности отличались по сравнению с весенним оборотом. Применение микроклубней > 9 мм сортов Гулливер и Кумач достоверно увеличило количество сформированных мини-клубней по сравнению с микрорастениями. При этом превышение отмечено как по общему выходу (0,8-2,1 шт.), так и стандартной фракции (0,7-1,6 шт.). Выход стандартных мини-клубней в среднем составил 62,7-71,6 % (табл. 4).

Таким образом, общее количество сформированных мини-клубней при летней посадке получено в 1,2-1,4 раза меньше, чем при весенней, тенденция снижения количественного выхода мини-клубней в результате высадки нестандартных микроклубней сохранилась.

Таблица 4 – Продуктивность растений картофеля в летнем обороте (среднее за 2019-2021 гг.) /
Table 4 – Productivity of plants of potato during summer rotation (2019-2021)

Сорт / Variety	Вариант / Variant	Количество клубней, шт. / Number of tubers, pcs.			Выход стандарт- ной фракции, % / Yield of the seed fraction, %
		всего/ in total	в том числе / including		
			стандартные / standard	нестандартные / non-standard	
Гулливер / Gulliver	МР – контроль / Micro-plants – control	5,3	3,4	1,9	64,2
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	6,1	4,1	2,0	62,7
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	4,1	2,2	1,9	53,6
Садон / Sadon	МР – контроль / Micro-plants – control	4,7	2,9	1,8	61,7
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	4,9	3,3	1,6	67,3
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	3,6	1,9	1,7	52,8
Кумач / Kumach	МР – контроль / Micro-plants – control	4,6	3,2	1,4	69,6
	МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	6,7	4,8	1,9	71,6
	МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	3,5	2,3	1,2	65,7
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		0,80	0,58	-	-

Результаты проводимого сравнительного статистического анализа при выращивании мини-клубней в различных оборотах защищенного грунта показали, что в весенней культуре растения из микрорастений и микро-клубней >9 мм по количеству сформированных мини-клубней не различались. Такие

растения сформировали от 7,4 до 7,7 мини-клубней при выходе стандартной фракции 6,6-6,9 шт., при этом характерной особенностью для них являлось присутствие высокой выравненности по коэффициенту размножения и выходу стандартной фракции ($C_v = 14,8-24,6\%$) (табл. 5).

Таблица 5 – Коэффициент размножения и выход стандартной фракции мини-клубней картофеля в разных оборотах защищенного грунта (среднее за 2019-2021гг.) /
Table 5 – Reproduction coefficient and yield of standard fraction of mini-tubers potato in different rotations of protected ground (2019-2021)

Вариант / Variant	Коэффициент размножения / Reproduction coefficient			Выход стандартной фракции / Yield of standard fraction		
	μ , шт. / μ , pcs	S^2 , шт. / S^2 , pcs	C_v , %	μ , шт. * / μ , pcs	S^2 , шт. / S^2 , pcs	C_v , %
Весенний оборот / Spring rotation						
МР – контроль / Micro-plants – control	7,4	1,6	20,3	6,6	1,2	24,6
МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	7,7	1,7	14,8	6,9	0,9	18,0
МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	4,6	0,7	13,5	2,8	0,6	10,2
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,72	-	-	0,66	-	-
Летний оборот / Summer rotation						
МР – контроль / Micro-plants – control	5,0	3,5	22,4	3,3	1,5	33,6
МК > 9 мм / Micro-tubers > 9 mm	5,8	3,8	34,8	4,0	2,4	31,4
МК 5-9 мм / Micro-tubers 5-9 mm	3,9	2,3	7,6	1,8	1,0	14,7
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,80	-	-	0,58	-	-

Примечания: μ – среднее значение; S^2 – дисперсия; C_v – коэффициент вариации /
 Notes: μ – average value; S^2 – variance; C_v – coefficient of variation.

В летнем обороте растения в вариантах с применением микроклубней > 9 мм отмечены более продуктивными по сравнению с микро-растениями. Они сформировали по 5,8 микроклубней, при выходе стандартной фракции 4,0 шт., что достоверно превысило контроль на 0,8 и 0,7 шт., соответственно, при довольно широком диапазоне разброса показателей ($S^2 = 2,4-3,8$ шт.). Коэффициент вариации (C_v) в проводимом эксперименте превысил 31,4 %, что также указывает на отсутствие однородной совокупности в результатах проводимой статистической обработки данных. Тем не менее полученные количественные результаты выращенных микроклубней летней посадки указывают на преимущество использования микроклубней в качестве посадочного материала.

Важным параметром, определяющим качество полученного оригинального семенного материала, является проведение диагностики и оценка на наличие скрытой зараженности фитопатогенами. Результаты диагностики растений по листовым пробам в производимом материале в двух оборотах защищенного грунта показали отсутствие патологий вирусного, бактериального и виroidного происхождения. Проводимый контроль качества указывает на соответствие полученного урожая микроклубней нормативным требованиям исходного оздоровленного материала.

Заключение. По результатам биометрической оценки, наиболее благоприятными условиями для выращивания микроклубней в защищенном грунте в условиях РСО-Алания является весенняя посадка. В летнем обороте при высадке микроклубней высота и биомасса

растений в 1,2-1,3 раза меньше, чем в весеннем. Растения в вариантах с применением стандартных микроклубней не уступили микроклубням, в то время как применение нестандартной фракции по биометрической оценке оказалось в 1,3-1,6 раза ниже, чем в контрольном.

Продуктивность исходного материала в весенней культуре зависела от сортовых особенностей. В этом сроке выращивания исследуемые сорта сформировали от 6,9 до 8,4 микроклубней. Происхождение посадочного материала не оказало существенного влияния на количественный выход микроклубней. В летней культуре продуктивность снизилась в 1,2-1,4 раза.

Применение в качестве посадочного материала микроклубней и микроклубней показало, что в весенней культуре продуктивность исследуемых сортов картофеля зависела в большей степени от сортовых особенностей и сроков выращивания исходного материала в теплицах. В весенней культуре было сформировано от 6,9 до 8,4 микроклубней, в то время как в летней количественный выход снизился в 1,2-1,4 раза и составил 4,6-6,1 шт. на растение. Выращивание микроклубней в двух оборотах защищенного грунта способствовало увеличению количества микроклубней за вегетационный сезон в 1,7 раза. В условиях Северного Кавказа применение технологии выращивания исходного материала с использованием двух оборотов защищенного грунта является эффективным элементом при создании дополнительного семенного фонда для оригинального семеноводства картофеля.

Список литературы

1. Dimante I., Gaile Z. Potato minitubers technology – its development and diversity: A review. Research for Rural Development. 2014;1:69-76. URL: https://www.researchgate.net/publication/287297089_Potato_minitubers_technology_its_development_and_diversity_A_review
2. Кшникаткин С. А., Ильин А. Н. Технология ускоренного оригинального семеноводства картофеля на безвирусной основе. Наука и Образование. 2019;2(2):273. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38578503>
3. Корнацкий С. А., Попкова А. А., Семенов А. Ж. Опыт использования рассады картофеля при выращивании микроклубней в теплице. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2018;2(35):7-11.
4. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahiou B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown in vitro. Journal of Plant Nutrition. 2021;44(14):2123-2137. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>
5. Sahin N. K., Benlioglu B., Ahmed H. A., Uranbey S. Effects of salt stress on expression level of Stdreb2 transcription factor and microtuberization of different potato genotypes. Journal of Animal and Plant Sciences-Japs. 2020;30(5):1246-1251. DOI: <https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.5.0142>
6. Wrobel S. Assessment of potato microtuber and in vitro plantlet seed multiplication in field conditions – Growth, development and yield. Field crops research. 2015;178:26-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.011>

7. Yagiz A. K., Yavuz C., Tarim C., Demirel U., Caliskan M. E. Effects of Growth Regulators, Media and Explant Types on Microtuberization of Potato. *American Journal of Potato Research*. 2020;97(5):523-530. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09801-4>
8. Овэс Е. В., Гаитова Н. А., Шишкина О. А. Индуцирование микроклубнеобразования новых перспективных сортов картофеля в асептической культуре. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020;15(4):48-54. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44688175>
9. Гизатуллина А. Т., Сташевски З. Изучение влияния сахарозы, кинетина, бензоаминопурина и фото-периода на массу и количество микроклубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский в асептической культуре *in vitro*. *Достижения науки и техники АПК*. 2021;35(12):44-49. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_12_44
10. Sharma A. K., Singh R. K., Buckseth T. Effect of method of planting of in vitro plantlets on potato minituber production under protected conditions. *Potato Journal*. 2017;44(2):135-138.
11. Dimante I., Mežaka I., Gaile Z. The effect of minituber weight on their field performance under a northern European environment. *Agronomy Research*. 2019;17(2):396-407. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.063>
12. Ozturk G., Yildirim Z. Tuber characteristics of disease free meristem clones of some potato genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*. 2020;25(2):174-180. DOI: <https://doi.org/10.17557/tjfc.831986>
13. Кошкарлова М. К., Лепп Ф. Р., Келик Л. А. Первичное семеноводство оздоровленного картофеля на Урале. *Теория и практика мировой науки*. 2019;(4):35-38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41393260>
14. Ozkaynak E. Tuber size effects on yield and number of potato minitubers of commercial varieties in a greenhouse production system. *Turkish Journal of Field Crops*. 2021;26(1):123-128. DOI: <https://doi.org/10.17557/TJFC.950280>
15. Shahid A., Naeem K., Faisal N., Shazia E., Waljid N., Shahid M. A. *In vitro* effects of GA3 on morphogenesis of CIP potato explants and acclimatization of plantlets in field. *In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant*. 2018;54:104-111. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11627-017-9874-x>
16. Gerieva F. T., Morgoev T. A. Innovative technologies for growing of mini-tubers in virus-free potato seed production. *Journal of Physics conference Series*. 2021;1942(1):012060. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1942/1/012060>
17. Етдзаева К. Т., Овэс Е. В. Технологические элементы выращивания миниклубней в различных оборотах защищенного грунта. *Инновационные разработки для развития отраслей сельского хозяйства региона: сб. научн. тр. под ред. В. Н. Мазурова*. Калуга: ФГБНУ «Калужский НИИСХ», 2019. С. 194-199.

References

1. Dimante I., Gaile Z. Potato minitubers technology – its development and diversity: A review. *Research for Rural Development*. 2014;1:69-76. URL: https://www.researchgate.net/publication/287297089_Potato_minitubers_technology_-_its_development_and_diversity_A_review
2. Kshnikatkin S. A., Ilyin A. N. Technology of the accelerated original seed production of potato on a virus-free basis. *Nauka i Obrazovanie = The Education and Science Journal*. 2019;2(2):273. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38578503>
3. Kornatskiy S. A., Popkova A. A., Semenov A. Zh. Experience in the use of potato seedlings for growing minitubers in greenhouse. *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa = Theoretical & Applied Problems of Agro-industry*. 2018;(2 (35)):7-11. (In Russ.).
4. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahiou B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown in vitro. *Journal of Plant Nutrition*. 2021;44(14):2123-2137. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>
5. Sahin N. K., Benlioglu B., Ahmed H. A., Uranbey S. Effects of salt stress on expression level of Stdreb2 transcription factor and microtuberization of different potato genotypes. *Journal of Animal and Plant Sciences-Japs*. 2020;30(5):1246-1251. DOI: <https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.5.0142>
6. Wrobel S. *Assessment of potato microtuber and in vitro plantlet seed multiplication in field conditions – Growth, development and yield*. *Field crops research*. 2015;178:26-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.011>
7. Yagiz A. K., Yavuz C., Tarim C., Demirel U., Caliskan M. E. Effects of Growth Regulators, Media and Explant Types on Microtuberization of Potato. *American Journal of Potato Research*. 2020;97(5):523-530. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09801-4>
8. Oves E. V., Gaitova N. A., Shishkina O. A. Induction of microtubing of new promising potato varieties in aseptic culture. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2020;15(4):48-54. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44688175>

9. Gizatullina A. T., Stashevski Z. Effects of sucrose, kinetin, benzoaminopurine, and photoperiod on the weight and number of microtubers in aseptic *in vitro* culture of nevsky potato (*Solanum tuberosum* L.) variety. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2021;35(12):44-49. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_12_44
10. Sharma A. K., Singh R. K., Buckseth T. Effect of method of planting of *in vitro* plantlets on potato mini-tuber production under protected conditions. *Potato Journal*. 2017;44(2):135-138.
11. Dimante I., Mežaka I., Gaile Z. The effect of minituber weight on their field performance under a northern European environment. *Agronomy Research*. 2019;17(2):396-407. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.063>
12. Ozturk G., Yildirim Z. Tuber characteristics of disease free meristem clones of some potato genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*. 2020;25(2):174-180. DOI: <https://doi.org/10.17557/tjfc.831986>
13. Koshkarova M. K., Lepp F. R., Kelik L. A. Pervichnoe semeno-vodstvo ozdorovlennogo kartofelya na Urale. *Teoriya i praktika mirovoy nauki = Theory and Practice of the World Science*. 2019;(4):35-38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41393260>
14. Ozkaynak E. Tuber size effects on yield and number of potato minitubers of commercial varieties in a greenhouse production system. *Turkish Journal of Field Crops*. 2021;26(1):123-128. DOI: <https://doi.org/10.17557/TJFC.950280>
15. Shahid A., Naem K., Faisal N., Shazia E., Waljid N., Shahid M. A. *In vitro* effects of GA3 on morphogenesis of CIP potato explants and acclimatization of plantlets in field. *In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant*. 2018;54:104-111. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11627-017-9874-x>
16. Gerieva F. T., Morgoev T. A. Innovative technologies for growing of mini-tubers in virus-free potato seed production. *Journal of Physics conference Series*. 2021;1942(1):012060. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1942/1/012060>
17. Etdzaeva K. T., Oves E. V. Technological elements of growing mini-tubers in various rotations of protected ground. Innovative developments for the development of agricultural sectors in the region: collection of scientific works. edited by V. N. Mazurov. Kaluga: FGBNU «Kaluzhskiy NIISKh», 2019. pp. 194-199.

Сведения об авторах

Етдзаева Кристина Таймуразовна, младший научный сотрудник отдела меристемно-тканевых технологий и БЗСК, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д. п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru

✉ **Овэс Елена Васильевна**, доктор с.-х. наук, и.о. заместителя директора по научной работе, зав. отделом меристемно-тканевых технологий и БЗСК, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д. п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5122-9583>, e-mail: oveselena@mail.ru

Information about the authors

Kristina T. Etdzaeva, junior researcher, the Department of Meristem Technologies, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru

✉ **Elena V. Oves**, DSc in Agricultural Science, acting Deputy Director for Science, Head of the Department of Meristem Technologies, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5122-9583>, e-mail: oveselena@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оценка перспективных линий льна-долгунца селекционного сортоиспытания по основным хозяйственно ценным признакам и адаптивности

© 2022. А. Д. Степин ✉, М. Н. Рысев, Т. А. Рысева, С. В. Уткина

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь,
Российская Федерация

Цель исследований – комплексная оценка перспективных линий льна-долгунца по основным хозяйственно ценным признакам и адаптивности на основе результатов селекционного сортоиспытания в условиях Северо-Западного региона РФ. Исследования проводили в условиях Псковской области в 2016-2019 годах на дерново-слабоподзолистой легкосуглинистой хорошо окультуренной почве. Гидротермический коэффициент (ГТК) за период вегетации был равен в 2016 году – 1,98, 2017 – 1,60, 2018 – 0,95 и в 2019 году – 1,44. Абиотические условия года оказали наибольшее достоверное влияние при 5%-ном уровне значимости на формирование высоты растений (79,2 %), урожайности льносемян (83,6 %), льносоломы (78,0 %) и льноволокна (68,5 %), продолжительность вегетационного периода (58,3 %). Доля генотипа преобладала в формировании содержания волокна в стебле (75,0 %). Вариабельность была наибольшей по урожайности льносемян ($CV = 26,4...34,1$ %); преимущественно средней – по урожайности льносоломы и льноволокна ($CV = 11,3...21,5$ %) и слабой – по остальным признакам ($CV = 1,5...10,5$ %). На основании результатов исследований по комплексу хозяйственно ценных признаков выделены 3 лучшие линии, представляющие практический интерес: П-4382-3-2 ф-3, П-4453 ц-6 и П-4629 ш-1. Все они относятся к раннеспелым (вегетационный период 77...79 суток), устойчивы к полеганию (4,1...4,7 балла) и фузариозному увяданию (86,5...93,3 %), высокорослые (78...82 см), имеют урожайность льносоломы (50,2...51,0 ц/га) и льносемян (5,9...6,9 ц/га) на уровне стандартного сорта Восход. Отличаются высокой волокнистостью (35,9...39,6 %) и урожайностью льноволокна (18,4...19,9 ц/га), превзошли стандарт на 2,5...5,9 % (абс.) и 7,6...17,0 % соответственно. Исходя из комплексной оценки селекционного материала по продуктивности и параметрам адаптивности, с использованием принципа ранжирования, эти же генотипы являются наиболее приспособленными к почвенно-климатическим условиям Северо-Западного региона, как набравшие наименьшие суммы рангов. Использование их в селекционных программах будет способствовать созданию новых сортов, обеспечивающих получение высоких и стабильных урожаев льнопродукции хорошего качества.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., сорт, линия, урожайность, волокно, семена, качество, пластичность, стабильность, адаптивность, стрессоустойчивость

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2019-0009).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В. Оценка перспективных линий льна-долгунца селекционного сортоиспытания по основным хозяйственно ценным признакам и адаптивности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):450-462. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.450-462>

Поступила: 13.04.2022

Принята к публикации: 23.06.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

The assessment of promising fiber flax lines of breeding variety testing according to the main agronomic traits and adaptability

© 2022. Aleksander D. Stepin ✉, Michail N. Rysev, Tamara A. Ryseva,

Svetlana V. Utkina

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The purpose of the research is a comprehensive assessment of promising lines of fiber flax according to the main agronomic traits and adaptability based on the results of breeding variety testing in the conditions of the North-Western region of the Russian Federation. The research was carried out in the conditions of Pskov region in 2016-2019 on sod-weakly podzolic light loamy well-cultivated soil. The hydrothermal coefficient (HTC) for the growing season was in 2016 – 1.98, in 2017 – 1.60, in 2018 – 0.95 and in 2019 – 1.44. Abiotic conditions of the year had the greatest significant impact at 5 % significance level on the formation of plant height (79.2 %), the yield of flax seeds (83.6 %), flax straw (78.0 %) and flax fiber (68.5 %), the duration of the growing season (58.3 %). The share of the genotype prevailed in the formation of the fiber content in the stem (75.0 %). Variability was greatest in the yield of flax seeds ($CV = 26.4...34.1$ %); mainly average – in the yield of flax straw and flax fiber ($CV = 11.3...21.5$ %) and weak – in other characteristics ($CV = 1.5...10.5$ %). Based on the results of the research according to the complex of agronomic traits, three best lines of practical interest have been identified: P-4382-3-2 f-3, P-4453 c-6 and P-4629 sh-1. All of them belong to early ripening (the growing season is 77...79 days), are resistant to lodging (4.1...4.7 points) and fusarium wilting (86.5...93.3 %), tall (78...81 cm), have the yield of flax straw (50.2...51 c/ha) and flax seeds (5.9...6.9 c/ha) at the level of standard variety Voskhod. They are characterized by high fiber

content (35.9...39.6 %) and flax fiber yield (18.4...19.9 c/ha), exceeded the standard by 2.5...5.9 % (abs.) and 7.6...17 %, respectively. Based on a comprehensive assessment of the breeding material according to productivity and adaptability parameters, using the ranking principle, the same genotypes are the most adapted to the soil and climatic conditions of the North-Western region, as having scored the lowest amounts of ranks. Their use in breeding programs will contribute to the development of new varieties that ensure high and stable yields of flax products of good quality.

Keywords: *Linum usitatissimum* L., variety, line, yield, fiber, seeds, quality, plasticity, stability, adaptability, stress resistance

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2019-0009).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V. The assessment of promising fiber flax lines of breeding variety testing according to the main agronomic traits and adaptability. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):450-462. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.450-462>

Received: 13.04.2022

Accepted for publication: 27.06.2022

Published online: 25.08.2022

Лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.) является важной технической культурой в Российской Федерации, продукция которого (волокно, семена, треста) широко используется в различных отраслях экономики: текстильной, пищевой, фармацевтической, строительной, химической промышленности, военно-промышленном комплексе и других отраслях индустрии [1, 2, 3]. Несмотря на то, что его посевы в последние десятилетия значительно сократились, льноволокно по-прежнему остается основным источником натуральных волокон в России. По данным Министерства сельского хозяйства РФ, потребности внутреннего рынка в льноволокне не удовлетворяются. Ежегодно производится 40...45 тыс. тонн льноволокна, тогда как требуется в 2,5...3,0 раза больше¹ [4, 5].

В решении проблемы обеспечения страны конкурентным льносырьем важная роль отводится селекции, направленной на использование биологического потенциала культуры [6]. Вклад сорта в повышение урожайности сельскохозяйственных культур за последние 30 лет оценивается в 40...80 % и в будущем роль данного фактора будет непрерывно возрастать. Считается, что чем хуже почвенно-климатические и погодные условия, тем выше роль сорта и гибрида [7, 8].

Созданные в последние годы отечественные сорта характеризуются высокой урожайностью льноволокна (20...25 ц/га) и льносемян (10...12 ц/га), хорошим качеством льноволокна, устойчивостью к полеганию и болезням. Однако в производственных условиях их биологический потенциал реализуется не более чем на 45 %, что в значительной мере обусловлено влиянием неблагоприятных факторов среды [9, 10].

Урожайность – результат сложного генотип-средового воздействия. Одним из его компонентов являются нерегулируемые факторы внешней среды, которые на 60...80 % обуславливают межгодовую вариабельность урожайности сельскохозяйственных культур, что диктует необходимость целенаправленной селекции на адаптивность к неблагоприятным погодным условиям [11, 12]. К их числу в условиях Северо-Западного региона относятся летние засухи, совпадающие с периодом быстрого роста льна-долгунца, неравномерность выпадения осадков в течение вегетационного периода, резкие перепады температур, ливневые дожди и шквалистые ветры² [13]. В связи с этим особую актуальность приобретает создание высокопродуктивных с хорошим качеством волокна, экологически пластичных сортов, устойчивых к лимитирующим урожайность факторам среды, позволяющих формировать достаточно стабильные урожаи в различных условиях произрастания [10, 13, 14, 15].

Особенностью селекции на адаптивность является контроль экологической пластичности и стабильности сортов и гибридов на всех этапах селекционного процесса [16]. Для анализа продуктивного потенциала сортов по варьированию их урожайности используется ряд методов, различающихся по степени сложности вычислений, информативности, объективности, разрешающей способности [17, 18, 19, 20]. Для более достоверной оценки предлагается использование комплекса параметров с применением принципа ранжирования [8, 20, 21]. По льну-долгунцу подобных работ крайне мало, что указывает на актуальность проведения исследований в данном направлении [10, 15, 22, 23].

¹Валовой сбор льноволокна в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://agentstvo-len.ru/valovoy-sbor-lna-dolguntsa-v-rossiyskoy-federatsii-tys-tonn> (дата обращения: 20.03.2024).

²Агроклиматические ресурсы Псковской области. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 112 с.

Цель исследований – провести комплексную оценку сортов и перспективных линий льна-долгунца в селекционном сортоиспытании по основным хозяйственно ценным признакам и адаптивности, выделить лучшие из них для включения в селекционные программы по созданию высокопродуктивных, экологически пластичных и стабильных сортов льна-долгунца для условий Северо-Западного региона Российской Федерации.

Научная новизна исследований заключается в изучении и комплексной оценке новых перспективных линий льна-долгунца по урожайности, адаптивности и другим селекционно-значимым признакам, установлении взаимосвязей между ними и выявлении лучших из них для использования в селекционных программах по созданию высокопродуктивных сортов льна-долгунца с широким адаптивным потенциалом в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле обособленного подразделения Псковский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» в течение 2016-2019 годов. Объектом исследований являлись сорта и перспективные линии, изучавшиеся в селекционном сортоиспытании: П-4382 ф-3 (Восход х ВИР-4); П-4453 ц-6 (Восход х П-3522); П-4625-4-8 ш-4 (Добрыня х Ритм); П-4629 ш-1 (Добрыня х П-3931) и сорт Добрыня. В качестве стандарта использовался районированный в области раннеспелый сорт Восход селекции института.

Почва опытного участка дерново-слабо-подзолистая легкосуглинистая на карбонатной морене со следующими агрохимическими показателями: $pH_{\text{сол.}}$ 5,0...5,2, содержание подвижного фосфора (P_2O_5) 190...366 мг/кг почвы и обменного калия (K_2O) 89...146 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса 2,3...2,6 % (по Тюрину). Предшественник – многолетние травы. Система обработки почвы включала агротехнические приемы: осенняя обработка поля от однолетних и многолетних сорняков всех видов гербицидом сплошного действия «Торнадо-500» с нормой расхода – 1,5 л/га; зяблевая вспашка; ранневесеннее боронование;

предпосевная культивация с одновременным боронованием в 2 следа; прикатывание. Под предпосевную культивацию вносили азотфоску (16:16:16) – 1,5 ц/га. Закладку опытов, учеты и наблюдения проводили в соответствии с методическими указаниями³. Семена высевали тракторной сеялкой Саксония с междурядьями 10 см. Площадь делянки 25 м², повторность 4-кратная. Срок посева – 2 декада мая, норма высева 21 млн всхожих семян на 1 га. Уборку льна-долгунца осуществляли вручную. В лабораторных условиях вели учет урожая льносоломой и льносемян.

Льноволокно из стеблей выделяли методом тепловой мочки, качество его оценивали по стандартной методике⁴. Урожайность льна-долгунца рассчитывали на основании урожайности льносоломой и содержания льноволокна в стеблях.

В процессе статистической обработки урожайных данных оценивали показатели: коэффициент вариации (CV, %); долю влияния сорта и абиотических условий на формирование признаков продуктивности; наименьшую существенную разность (дисперсионный анализ по Б. А. Доспехову⁵); индекс условий среды (I_s); коэффициент регрессии (b_i); стабильность сорта в различных условиях среды (G_d^2) – по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell [24]; показатель стрессоустойчивости ($Y_2 - Y_1$) и генетической гибкости ($(Y_1 + Y_2)/2$) – по уравнениям A. A. Rosielle, J. Hamblin [25] в изложении А. А. Гончаренко; гомеостатичность (H_{om}) и селекционную ценность (Sc) – по В. В. Хангильдину⁶; коэффициент адаптивности (КА) – по методу Л. А. Животкова⁷; общую адаптивную способность (ОАС) – по методике А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой⁸.

Результаты и их обсуждение. Метеорологические условия 2016-2019 годов существенно различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков, варьирующими в течение вегетационных периодов. Это позволило выявить генотипические особенности изучаемых образцов в различных условиях среды и дать объективную оценку сортам по продуктивности и устойчивости к неблагоприятным агрометеорологическим условиям.

³Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2014. 140 с.

⁴Арно А. А., Гращенко М. Г., Шиков С. А. Методики технологической оценки продукции льна и конопли. М., 1961. 184 с.

⁵Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

⁶Хангильдин В. В., Бирюков С. В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях. Генетико-цитологические аспекты селекции сельскохозяйственных растений: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ, Всесоюз. селекц.-генет. ин-т. Одесса: ВСГИ, 1984. С. 67-76.

⁷Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «Урожайность». Селекция и семеноводство. 1994;(2):3-6.

⁸Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.

Вегетационный период 2016 года был теплым и дождливым. Среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетнюю в мае на 2,4 °С, в июне – на 1,1 °С, в июле – на 0,4 °С и в августе – на 0,2 °С. За вегетационный период выпало 403 мм осадков, что в 1,3 раза превысило норму. Гидротермический коэффициент по Селянину, который является интегральным показателем оценки влагообеспеченности растений, составил 1,98, что указывает на избыточное увлажнение. Ливневые дожди на протяжении, практически, всего периода вегетации привели к частичному полеганию посевов (устойчивость к полеганию в разрезе испытываемых сортов и линий колебалась в пределах 4,2...5,0 баллов), что негативно отразилось на урожайности льносолом и содержании льноволокна в ней.

Вегетационный период 2017 года был относительно прохладным и с достаточным количеством осадков (ГТК = 1,60). Среднесуточная температура воздуха в мае была на 1,5 °С, в июне – на 1,9 °С, в июле – на 2,1 °С ниже средней многолетней. За май-август выпало 282,6 мм осадков при норме 317 мм (89,1 %). Такие погодные условия задерживали развитие льна-долгунца. Однако, в целом, умеренно теплая с достаточным количеством осадков в фазу быстрого роста льна погода способствовала нарастанию вегетативной массы и формированию волокна в льносоломе. Лён был высокорослым (86...89 см), с высоким содержанием волокна, что обеспечило получение хорошего урожая льноволокна.

Период вегетации (май-август) 2018 года характеризовался повышенным температурным фоном и недостаточным количеством выпавших осадков. Среднесуточные температуры воздуха по месяцам превышали среднемноголетние данные на 0,5...3,6 °С, количество осадков составило 209 мм при норме – 317 мм, или 65,9 % от среднемноголетней. К тому же они носили неравномерный характер. В мае-июле наблюдался их дефицит, а в августе количество осадков выпало в норме – 94 мм. Гидротермический коэффициент по Селянину в целом за вегетационный период составил 0,95 при оптимуме 1,3...1,6⁹, что характеризует его как слабо засушливый. Все это оказало негативное влияние на формирование урожайности льнопродукции и особенно льносемян.

Погодные условия вегетационного периода 2019 года сложились недостаточно благоприятными для роста и развития льна-долгунца.

Среднесуточная температура воздуха в целом за вегетационный период составила 15,9 °С, сумма осадков – 282,6 мм, ГТК по Селянину – 1,44, что отвечает уровню среднемноголетних – соответственно 15,7 °С, 317 мм, 1,64. Вместе с тем в период вегетации они существенно варьировали. Июнь был жарким и сухим, среднесуточная температура воздуха превышала на 2,7 °С среднюю многолетнюю, а осадков выпало всего 23,6 мм, или 25,7 % от нормы. Гидротермический коэффициент за июнь составил всего 0,43, что характеризует этот период как сильно засушливый. Июль был холодным и дождливым, среднесуточная температура воздуха (16,4 °С) была на 1,9 °С ниже среднего многолетнего значения, осадков выпало 136 % от нормы. Первая декада августа также была прохладной. Создавшиеся условия задерживали развитие растений, однако существенного отрицательного влияния на формирование урожая не оказали.

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований существенно отличались друг от друга и оказывали различное влияние на формирование отдельных селекционно-значимых признаков и, прежде всего, урожайности льна-долгунца. Исходя из величины индексов среды (I_j), представляющих собой разницу между среднегодовой урожайностью или другого признака отдельного года и средними данными по опыту, наиболее благоприятные условия для формирования урожайности льноволокна и льносолом, содержания волокна в растениях сложились в 2017 году ($I_j = +10,56; +4,12; +0,51$ соответственно). Неблагоприятные условия среды были в 2016, 2018 и 2019 годах для урожайности льносолом и льноволокна ($I_j =$ от -0,09 до -9,16), в 2018 году – для получения льносолом ($I_j = -9,16$) и льноволокна ($I_j = -3,4$). Метеоусловия 2019 года были благоприятными для формирования урожайности льносемян ($I_j = +3,02$), а в остальные годы неудовлетворительными ($I_j =$ от -0,45 до -2,48). По признаку «высота растений» благоприятные условия отмечены в 2016, 2017 и 2018 годах ($I_j = +0,9; +7,4; +2,0$ соответственно), неблагоприятные в 2019 году ($I_j = -10,6$). По признаку «вегетационный период» хорошие условия среды сложились в 2016 и 2017 годах ($I_j = +2,8; +7,4$ соответственно), неблагоприятные в 2018 и 2019 годах ($I_j = -4; -6$).

⁹Справочник льновода. М.: Россельхозиздат, 1969. 215 с.

На основании результатов двухфакторного дисперсионного анализа установлено влияние генотипа (фактор А), условий года (фактор В) и их взаимодействия (А х В) на все изучаемые признаки урожайности льна-долгунца, а также на продолжительность вегетационного периода и высоту растений (табл. 1). Наибольшее влияние на формирование большинства признаков оказали условия года, особенно на урожайность льносемян и высоту растений. Зависимость фенотипического проявления изучаемых признаков от наследственных особенностей сортообразцов была на уровне 8,77...75,04 %.

В наибольшей степени эта зависимость сказывалась на содержании льноволокна в стебле (75,04). Следует отметить, что величина урожайности и отдельных признаков у изучаемых форм в разной степени зависела от условий выращивания и наследственных особенностей сортов. При этом действие генотипа и среды было достоверным при 5%-ном уровне значимости на все признаки, тогда как влияние взаимодействия «генотип х среда» было существенным только на признаки «продолжительность вегетационного периода», «содержание волокна» и «урожайность льносолумы».

Таблица 1 – Влияние генотипа и условий года на хозяйственно ценные признаки льна-долгунца (2016-2019 гг.) /

Table 1 – Influence of genotype and conditions of the year on the agronomic traits of fiber flax (2016-2019)

Признак / Trait	Доля влияния, % / Share of influence, %		Взаимодействие факторов (А х В) / Combination of factors (A x B)	Случайная изменчивость / Random variability
	генотип (А) / genotype (A)	год (В) / year (B)		
Вегетационный период / Growing season	11,14*	58,36*	22,85*	7,74
Высота растений / Plant height	11,9*	79,17*	6,78	2,15
Содержание льноволокна / Fiber Content	75,04*	7,81*	10,43*	6,71
Урожайность льносолумы / Straw yield	11,05*	77,98*	8,67*	2,30
Урожайность льносемян / Seed yield	8,77*	83,65*	5,27	2,31
Урожайность льноволокна / Fiber productivity	18,76*	68,53*	8,95	3,76

*достоверно при $p \leq 0,05$ / statistically significant at $p \leq 0.05$

В селекционном сортоиспытании представлены перспективные линии, прошедшие многократный отбор на предыдущих этапах селекционного процесса по основным хозяйственно ценным признакам: продолжительность вегетационного периода, высота растений, урожайность льносолумы и семян, выход и качество льноволокна, устойчивость к полеганию, болезням и неблагоприятным агрометеорологическим условиям. Все сорта и линии характеризуются высокими показателями по этим признакам, но по их величине и реакции на условия среды отличаются между собой (табл. 2).

Продолжительность вегетационного периода является одним из важных хозяйственно ценных признаков льна-долгунца, который определяет возможность получения большего урожая в районах его выращивания. Все изучаемые в опыте сортообразцы относились к группе раннеспелых с длиной вегетационного периода 76...80 суток. Межсортовое варьирование (3,10...3,55 %) и внутрисортовое (7,55...9,40 %) за годы исследований были незначительными.

Продолжительность вегетационного периода на 58,36 % зависела от погодных условий, на 11,14 % – от генотипа и на 22,85 % – от взаимодействия этих факторов. По средним 4-летним данным, самый короткий вегетационный период наблюдали у стандарта Восход – 76 суток, наиболее длинный у сорта Добрыня и линии П-4625-4-8 ш-4 – 80 суток.

Важным показателем, определяющим урожайность льносолумы и волокна, является высота растений. За годы исследований она варьировала в пределах 67,8...89,2 см, а по средним данным за 4 года – 75,9...82,4 см при среднем значении по опыту 79,9 см. Степень изменчивости данного признака у всех испытываемых образцов была незначительной ($CV = 5,5...10,5$ %). На 79,17 % она зависела от условий среды и на 11,9 % от генотипа. По результатам исследований, сорт Добрыня и сортообразцы П-4382-3-2 ф-3, П-4453 ц-6 имели высоту растений на уровне стандарта или близкую к нему (80,7...82,4 см), линии П-4625-4-8 ш-4 и П-4629 ш-1 – ниже стандарта соответственно на 4,9 и 2,3 см.

Таблица 2 – Характеристика сортов и перспективных линий льна-долгунца по селекционно-значимым признакам (в среднем за 2016-2019 годы) /

Table 2 – Characteristics of varieties and promising lines of fiber flax according to selection- significant traits (average for 2016-2019)

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>П-4382-3-2 ф-3</i>	<i>П-4453 ц-6</i>	<i>П-4625-4-8 ш-4</i>	<i>П-4629 ш-1</i>	<i>Восход, см. / Voskhod, st.</i>	<i>Добрыня / Dobrynya</i>
Высота растений, см / Plant height, cm	81,3	82,4	75,9	78,5	80,8	81,1
Вегетационный период, сут / Growing season, days	79	77	80	78	76	80
Устойчивость к полеганию, балл / Resistance to lodging, points	4,1	4,7	4,2	4,7	4,0	4,0
Устойчивость к фузариозному увяданию, % / Disease resistance, %	86,5	93,3	74,0	87,2	94,2	86,5
Урожайность, ц/га / Yield, c/ha:						
льносоломы / straw	50,8	51,0	49,0	50,2	50,4	50,6
льносемян / seed	5,9	6,9	7,6	6,7	6,7	7,6
льноволокна / fiber	19,1	18,4	17,8	19,9	17,1	18,3
Содержание льноволокна в стебле, % / Fiber content in stem, %	37,6	35,9	36,2	39,6	33,7	36,2
Крепость льноволокна, кгс / Fiber strength, kgf	25,7	23,8	24,5	23,7	21,4	23,9
Гибкость льноволокна, мм / Fiber flexibility, mm	54,2	53,0	48,5	56,3	49,6	51,4

Устойчивость к полеганию является признаком, обуславливающим пригодность сорта к механизированной уборке и обеспечивающим получение льнопродукции высокого качества. Устойчивость к полеганию оценивалась по 5-балльной шкале. Высокой устойчивостью в опыте обладали линии П-4453 ц-6 и П-4629 ш-1, которые превысили стандарт Восход (4,8) на 0,8 балла. Эти же образцы отличались и наименьшей степенью изменчивости данного признака ($CV = 11,7\%$), тогда как у других номеров она находилась в пределах $CV = 15,12...32,69\%$ (средняя и высокая степень варьирования).

Все изучаемые генотипы отличались довольно высокой степенью устойчивости к фузариозному увяданию, которое определяли в полевых условиях в период ранней желтой спелости перед уборкой (от 74,0 до 94,2 %). Лучшими в этом отношении были линия П-4453 ц-6 (93,3 %) и сорт-стандарт Восход (94,2 %), которые отличались и более высокой стабильностью данного признака по годам исследований ($CV = 4,70...6,47\%$).

Содержание льноволокна в стеблях является одним из основных показателей хозяйственной ценности сорта. Данный показатель является наиболее стабильным в процессе репродукции. Степень изменчивости

его у изучаемых образцов находилась на низком уровне ($CV = 1,59...3,10\%$). Варьирование этого признака, по данным дисперсионного анализа, зависело в основном от генотипа (75,04 %), но и влияние условий среды было значимым (7,81 %). На долю взаимодействия «генотип х среда» приходилось 10,43 %. Наибольшее содержание льноволокна в стеблях отмечено у линий П-4629 ш-1 (39,6 %) и П-4382-3-3 ф-3 (37,6 %), которые превышали стандартный сорт Восход по этому показателю на 17,5 и 22,6 % соответственно.

Основными показателями качества льноволокна являются крепость, гибкость и тонина. Чем крепче и гибче волокно, меньше его тонина тем больше из него получается чесаного волокна, прочнее и добротнее пряжа, при обработке оно легче поддается многочисленным изгибам и кручению. По средним данным за годы исследований, наиболее высокой крепостью льноволокна характеризовались линии П-4382-3-2 ф-3 – 25,7 кгс, П-4625-4-8 ш-4 – 24,5 кгс и П-4629 ш-1 – 23,7 кгс, у стандарта Восход – 21,4 кгс. Средний показатель гибкости волокна стандарта (49,6 мм) превысили линии П-4453 ц-6 (56,3 мм), П-4382-3-2 ф-3 (54,2 мм), у остальных образцов он был на уровне стандарта (48,5...51,4 мм). По тонине волокна селекционные линии, практически, не различались.

Урожайность льносоломы, по средним данным за годы исследований, у всех испытываемых образцов и стандарта находилась на одном уровне 49,0...51,0 ц/га ($HC_{05} = 2,56$ ц/га). Степень варьирования данного признака у селекционных линий за годы исследований была средней ($CV = 11,3...20,0\%$) и обуславливалась на 78,0 % условиями среды, на 11,05 % гено-типом и на 10,43 % взаимодействием факторов.

Урожайность льносемян у стандарта Восход составила 6,7 ц/га. Линия П-4453 ц-6 и сорт Добрыня достоверно превысили стандарт на 0,9 ц/га, или 13,4 %. У остальных образцов урожайность льносемян получена на уровне стандарта – 6,7...6,9 ц/га. Все сортообразцы характеризовались высокой степенью изменчивости этого признака ($CV = 26,4...34,1\%$), которая на 83,65 % определялась условиями среды.

Урожайность волокна является конечным показателем продуктивности льна-долгунца, ради которого он и возделывается. Непостоянство условий среды способствовало значительной ее вариабельности по годам исследований. Это касается урожайности льноволокна как по отдельному сорту, так и в среднем по сортам. Наибольшая средняя сортовая урожайность льноволокна у испытываемых

селекционных образцов (22,5 ц/га) получена в 2017 году при положительном индексе среды (+4,12), а наименьшая (15 ц/га) – в 2018 году при отрицательном индексе среды (-3,4), в 2019 году она составила 17,8 ц/га при $I_j = -0,63$, в 2016 году 18,3 ц/га при $I_j = -0,09$. Урожайность льноволокна сортообразцов за годы исследований (2016-2019 гг.) варьировала от 13,4 ц/га (ст. Восход, 2018 г.) до 23,9 ц/га (линия П-4629 ш-1 и сорт Добрыня, 2017 г.), по средним данным – от 17,1 до 19,9 ц/га (сорт Восход и линия П-4629 ш-1 соответственно).

Наиболее высокой средней урожайностью волокна за 2016-2019 годы характеризовались линии П-4382-3-2 ф-3 (19,1 ц/га) и П-4629 ш-1 (19,9 ц/га), превысившие стандарт Восход (17,1 ц/га) на 11,7...16,3 % соответственно. При этом у образца П-4629 ш-1 во все годы исследований прибавки урожая были достоверными, а у П-4382-3-2 ф-3 – только в неблагоприятные по индексу среды годы.

Важной характеристикой при испытании сортообразцов является оценка потенциала урожайности в благоприятных условиях и адаптивности – в жестких, посредством определения доли урожайности образца в сравнении со среднесортовой урожайностью (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность льноволокна сортов и перспективных линий льна-долгунца (2016-2019 гг.) /
Table 3 – Flax fiber yield of varieties and promising lines of fiber flax (2016-2019)

Сорт и линия / Varietal and line	Урожайность льноволокна, ц/га / Flax fiber yield, c/ha					Доля урожайности относительно среднесортовой, % / The share of yield relative to the average variety, %			
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	$\bar{x}$	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
П-4382-3-2 ф-3	20,4*	22,1	16,3*	17,7*	19,1	111,5	98,2	108,7	103,8
П-4453 ц-6	19,0*	21,5	15,6*	17,3*	18,4	103,8	95,6	104,0	97,2
П-4625-4-8 ш-4	17,4	21,7	14,4*	17,7*	17,8	95,1	96,4	96,0	96,7
П-4629 ш-1	20,1*	23,9*	15,1*	20,3*	19,9	109,8	106,2	100,7	108,2
Восход, ст. / Voskhod, st.	17,1	22,1	13,4	15,6	17,1	93,4	98,2	89,4	92,9
Добрыня / Dobrynya	15,9	23,9*	15,2*	18,1*	18,3	86,9	106,2	101,0	99,5
Средняя сортовая / Average varietal	18,3	22,5	15,0	17,8	18,4	100,0	100,0	100,0	100,0
Индекс среды I_j / Environment Index	-0,09	+4,12	-3,40	-0,63	-	-	-	-	-
HC_{05} , ц/га / LSD_{05} , c/ha	1,23	1,16	0,82	1,24	-	-	-	-	-

* достоверно при $p \leq 0,05$ / * statistically significant at $p \leq 0.05$

По результатам исследований, в наиболее благоприятных условиях 2017 года лучшими по потенциалу урожайности льноволокна отмечены линия П-4629 ш-1 и сорт Добрыня (106,2 %). В относительно неблагоприятных условиях 2018 года высоким потенциалом адап-

тивности характеризовались линии П-4382-3-2 ф-3 (106,7 %) и П-4453 ц-6 (104,0 %). Ценными являются сорта, которые одновременно сочетают высокий потенциал продуктивности и адаптивности в контрастных условиях. К ним относится только один образец из 6 изу-

ченных – линия П-4629 ш-1, которая характеризовалась высоким потенциалом урожайности в благоприятный по условиям среды 2017 год (106,2 %) и адаптивности в неблагоприятные 2016, 2018, 2019 годы соответственно 109,8, 100,7, 108,2 %.

По признаку «урожайность льноволокна», как основному показателю продуктивности льна-долгунца, нами проведена более детальная оценка испытываемых образцов по адаптивности, пластичности и стабильности (табл. 4).

Таблица 4 – Параметры пластичности, стабильности и адаптивности сортов и линий льна-долгунца (2016-2019 гг.) /

Table 4 – Parameters of plasticity, stability and adaptability of flax varieties and lines (2016-2019)

Показатель / Parameter	П-4382-3-2 ф-3	П-4453 ц-6	П-4625-4-8 ш-4	П-4629 ш-1	Восход, см. / Voskhod, st.	Добрыня / Dobrynya
Коэффициент вариации (CV, %) / Coefficient of variation (CV, %)	15,8	13,5	16,8	18,1	21,5	21,5
Реализация потенциала (%) / Potential realization, %	86,4	85,6	82,0	83,7	77,4	76,5
Коэффициент пластичности (b_i) / Coefficient of plasticity (b_i)	0,78	0,92	0,96	1,12	1,18	1,17
Коэффициент стабильности (Gd^2) / Stability coefficient (Gd^2)	1,58	0,43	0,10	0,85	0,02	6,52
Коэффициент адаптивности (КА) / Coefficient of adaptability (AS)	1,04	1,00	0,99	1,09	0,93	0,99
Гомеостатичность (H_{om}) / Homeostaticity (H_{om})	20,8	23,2	14,5	12,6	17,2	9,7
Размах урожайности (d, %) / Yield range (d, %)	26,2	27,4	33,7	36,8	20,8	36,4
Стрессоустойчивость ($Y_2 - Y_1$) / Stress resistance ($Y_2 - Y_1$)	-5,8	-5,9	-7,3	-8,8	-4,6	-8,7
Генетическая гибкость ($(Y_1 + Y_2)/2$) / Genetic flexibility	19,2	18,6	18,1	19,5	17,7	19,5
Общая адаптивная способность (ОАС) / General Adaptive Capacity (CCA)	0,7	-	-0,6	1,5	-0,7	-0,1
Селекционная ценность (Sc) / Breeding Value (Sc)	14,1	13,4	11,8	12,6	10,4	11,6

Изучаемые сорта и линии не в полной мере реализовали свой высокий потенциал урожайности. Его реализация в среднем по опыту составила 81,9 %, а в разрезе образцов она варьировала от 76,5 до 85,6 %. Лучшими по данному показателю были линии П-4382-3-2 ф-3, П-4453 ц-6 и П-4629 ш-1 (88,7-86,9-83,7 % соответственно).

Изменчивость урожайности льноволокна по годам у всех новых линий была средней ($CV = 13,5...18,1$ %), тогда как у сортов Восход и Добрыня – сильной ($CV = 21,5$ %).

Устойчивость к стрессу и компенсаторская способность сортов (по А. А. Rossielle, J. Hemblin [19]) являются одними из показателей адаптивности и экологической пластичности. Наиболее высокую стрессоустойчивость ($Y_2 - Y_1$) в условиях опыта проявили линии П-4382-3-2 ф-3, П-4453 ц-6 и стандарт Восход, значения которых варьировали в пределах -4,6...5,9,

что свидетельствует о широком диапазоне их приспособительных возможностей, низкую (-8,7...-8,8) наблюдали у сорта Добрыня и линии П-4629 ш-1. Высокую урожайность льноволокна в контрастных условиях ($(Y_1 + Y_2)/2$), превысившую среднесортную (18,6 ц/га) на 3,2...4,8 %, обеспечили линии П-4629 ш-1, П-4382-3-2 ф-3 и сорт Добрыня (19,2...19,5 ц/га),

Размах урожайности (d) показывает отношение разницы между максимальной и минимальной урожайностью сорта к максимальной, выраженное в процентах. Чем ниже показатель d, тем стабильнее урожайность сорта в данных условиях. Лучшими по этому показателю были стандартный сорт Восход и линии П-4382-3-2 ф-3, П-4453 ц-6, худшими – сорт Добрыня и линия П-4629 ш-1.

Важным этапом при определении адаптивных свойств сортообразцов льна-долгунца является оценка их по пластичности, феноти-

пической стабильности и гомеостазу. Согласно модели S. A. Eberhart, W. A. Russell [18], по коэффициенту линейной регрессии (b_i), показывающему реакцию сортов на изменение условий выращивания, наиболее отзывчивыми ($b_i > 1$) на улучшение условий выращивания являлись сорта Восход (1,18), Добрыня (1,17) и линия П-4629 ш-1 (1,12). У линии П-4625-4-8 ш-4 коэффициент регрессии был близок или равен 1, что говорит о полном соответствии урожайности льноволокна изменению условий выращивания. Сортообразцы П-4382-3-2 ф-3, П-4453 ц-6 имели значение $b_i < 1$, что свидетельствует об их слабой реакции на улучшение условий выращивания, но вместе с тем они лучше адаптированы к средним и худшим условиям среды.

Имеются различия у изучаемого набора сортов и по показателям стабильности урожайности (Gd^2). По данному показателю в изучаемом наборе сортов (линий) наиболее стабильными по урожайности волокна являлись стандарт Восход ($Gd^2 = 0,02$) и линия П-4625-4-8 ш-4 ($Gd^2 = 0,1$). Самую низкую стабильность имел сорт Добрыня ($Gd^2 = 6,52$).

Согласно методике В. В. Хальгидина¹⁰, линии П-4382-3-2 ф-3 и П-4453 ц-6 характеризовались наибольшей гомеостатичностью ($H_{om} = 20,8...23,2$) и стабильностью (ИС = 6,3...7,4). Эти же генотипы отличались и наибольшей селекционной ценностью ($Sc = 13,4...14,1$), что также свидетельствует об их стабильности. Следует отметить, что оценка сортов по указанным показателям по признаку «урожайность льноволокна» не полностью совпадает с оценкой на стабильность по S. A. Eberhart и W. A. Russell (Gd^2) [18].

Общая адаптивная способность (ОАС) сортов характеризует их способность формировать высокий уровень урожайности льноволокна в разнообразных условиях среды. Среди изучаемых нами сортов и линий льна-долгунца наиболее высокие значения ОАС имели П-4382-3-2 ф-3 (0,7) и П-4629 ш-1 (1,5), которые превышали среднесортную урожайность льноволокна в среднем за годы исследований на 0,7 и 1,5 ц/га соответственно. Наиболее низкими значениями ОАС характеризовались стандартный сорт Восход (-0,7) и линия П-4625-4-8 ш-4 (-0,6), урожайность льноволокна которых уступала среднесортной урожайности на 0,7 и 0,6 ц/га соответственно.

В наших исследованиях оценку генотипов льна-долгунца по пластичности и стабильности по признаку «урожайность льноволокна» определяли различными методами. Полученные результаты показали, что направления и величина связей одних и тех же параметров друг с другом и с урожайностью волокна по ним не всегда совпадают. Для получения более достоверных результатов мы использовали принцип ранжирования по всем параметрам, а окончательную оценку проводили по сумме баллов [8, 20].

Ранжированная оценка сортообразцов по параметрам адаптивности (стрессоустойчивости, гибкости, изменчивости, генетической гибкости, пластичности, стабильности, гомеостатичности, общей адаптивной способности), с учетом наименьшей суммы баллов (рангов), позволила выявить генотипы льна-долгунца, наиболее приспособленные к условиям Северо-Западного региона. К ним относятся линии П-4382-3-2 ф-3, П-4453 ц-6 и П-4629 ш-1, набравшие соответственно 23, 30 рангов, что на 2-9 баллов меньше стандарта Восход и значительно меньше сорта Добрыня.

Среди вышеназванных наименьшую сумму рангов (23) набрали генотипы П-4382-3-2 ф-3 и П-4453 ц-6. Линия П-4382-3-2 ф-3 характеризуется относительно слабой изменчивостью, слабой отзывчивостью на улучшение условий среды, относительно слабой стабильностью, высокой стрессоустойчивостью и генетической гибкостью, относительно высокими реализацией потенциала, адаптивностью и общей адаптивной способностью, низким размахом урожайности, высокой гомеостатичностью и одновременно одной из самых высоких средних урожайностей льноволокна. Её можно отнести к сортам полунтенсивного типа, которые хорошо адаптированы к условиям региона и способны стабильно обеспечивать высокую урожайность волокна при изменяющихся условиях среды, в том числе в жестких агроклиматических условиях. По отзывчивости на изменение условий среды и другим параметрам адаптивности линия П-4453 ц-6 мало отличалась от линии П-4382-3-2 ф-3, но несколько уступала последней по урожайности волокна. Урожайность льносолом у них была одинаковой – 50,8 и 51 ц/га соответственно, а урожайность льносемян у линии П-4453 ц-6 получена выше на 1 ц/га, или на 16,9 %.

¹⁰Хангильдин В. В., Бирюков С. В. Указ.соч.

На втором месте по данному показателю находится линия П-4629 ш-1, набравшая 30 рангов. Она характеризуется самой высокой в опыте урожайностью волокна, относительно высокой пластичностью и низкой стабильностью, высокой вариабельностью и размахом урожайности, низкой гомеостатичностью и слабой стрессоустойчивостью, высокой адаптивностью и общей адаптивной способностью. Её следует отнести к сортам интенсивного типа, которые хорошо отзываются на улучшение условий выращивания и требуют высокого уровня агрофона, при котором способны реализовать свой высокий потенциал урожайности волокна.

При оценке сортообразцов в процессе селекции необходимо учитывать не только отдельные хозяйственно ценные признаки и влияние на них условий выращивания, но и характер взаимодействия между ними. Сильные корреляционные связи между признаками говорят о том, что, осуществляя отбор по одному из них, будет изменяться и другой. А отсутствие корреляции между ними указывает на возможность независимой селекции на их улучшение. Отдельные хозяйственно ценные признаки в различной степени коррелировали между собой, при этом связь была как положительной, так и отрицательной (табл. 5).

Таблица 5 – Корреляция урожайности и селекционно-значимых признаков у сортов и перспективных линий льна-долгунца (2016-2019 гг.) /

Table 5 – Correlation of yield and selection-significant traits in varieties and promising lines of fiber flax (2016-2019)

Признак / Trait	1	2	3	4	5	6
1	x	-0,53	0,24	-0,16	0,91	0,61
2		x	-0,4	-0,26	-0,39	0,25
3			x	0,99	-0,21	0,26
4				x	-0,36	0,52
5					x	0,53
6						x

Примечания: 1 – урожайность льносолумы; 2 – урожайность льносемян; 3 – урожайность льноволокна; 4 – содержание льноволокна; 5 – высота растений; 6 – продолжительность вегетационного периода /
 Notes: 1 – straw yield; 2 – seed yield; 3 – fiber yield; 4 – fiber content; 5 – plant height; 6 – growing season durability

Установлена сильная положительная зависимость урожайности льносолумы с высотой растений ($r = 0,91$), урожайности льноволокна с содержанием волокна ($r = 0,99$), средняя – урожайности соломы с длиной вегетационного периода ($r = 0,61$), вегетационного периода с высотой ($r = 0,53$) и содержанием волокна ($r = 0,52$); средняя отрицательная – урожайности льносемян с урожайностью льносолумы ($r = -0,53$), волокна ($r = -0,40$) и высотой растений ($r = -0,39$). Последнее затрудняет, но и не исключает одновременную селекцию на повышение урожайности льноволокна и льносемян.

Выводы. Двухфакторный дисперсионный анализ полученных данных показал, что степень влияния генотипа и условий года на формирование продуктивности и отдельных признаков льна-долгунца заметно различалась. Условия года в большей степени влияли на формирование урожайности льносемян (83,6 %), высоты растений (79,2 %), урожайности льносолумы (78,0 %) и льноволокна (68,5 %), на продолжительность вегетационного периода (58,3 %),

но и влияние генотипа на эти показатели было значимым. Доля генотипа преобладала в формировании содержания льноволокна в стеблях (75,0 %). Вариабельность была наибольшей по урожайности льносемян ($CV = 26,4...34,1$ %), средней по урожайности льносолумы и льноволокна ($CV = 11,3...21,5$ %) и слабой по вегетационному периоду, высоте растений и содержанию льноволокна в стеблях ($CV = 1,59...10,5$ %).

На основании результатов исследований выделены 3 лучшие линии льна долгунца по основным хозяйственно ценным признакам: П-4382-3-2 ф-3, П-4453 ц-6 и П-4629 ш-1, представляющие практический интерес. Все они относятся к раннеспелым (вегетационный период 77...79 суток), устойчивы к полеганию (4,1...4,7 балла) и фузариозному увяданию (87...93 %), высокорослы (78,5...82,4 см), имеют урожайность льносолумы (50,2...51,0 ц/га) и льносемян (5,9...6,9 ц/га) на уровне стандарта (50,4 и 6,7 ц/га соответственно). Отличаются высокой волокнистостью (35,9...39,6 %) и урожайностью волокна (18,4...19,9 ц/га), превосходя стандарт на 2,5...5,9 % (абс.) и 7,6...17 %

соответственно. По урожайности льносемян только линия П-4625-4-8 ш-4 и сорт Добрыня превосходили стандарт (6,7 ц/га) на 13,4 %.

Исходя из комплексной оценки селекционного материала по продуктивности и параметрам адаптивности, с использованием принципа ранжирования, эти же генотипы являются наиболее адаптивными к почвенно-климатическим условиям Северо-Западного региона, как набравшие наименьшие суммы рангов. Генотипы П-4382-3-2 ф-3 и П-4453 ц-6 можно отнести к нейтральному типу, они способны стабильно обеспечивать высокую урожайность волокна при изменяющихся

условиях среды, в том числе в жестких агро-климатических условиях. Линию П-4629 ш-1 следует отнести к интенсивному типу с хорошей отзывчивостью на улучшение условий выращивания и требованиями высокого уровня агрофона для реализации своего высокого потенциала урожайности волокна. Использование их в селекционных программах будет способствовать созданию новых сортов, обеспечивающих получение высоких и стабильных урожаев льнопродукции хорошего качества, что положительно скажется на решении сырьевой проблемы по производству льно-волокна в стране.

Список литературы

1. Рожмина Т. А., Понажев В. П. Состояние и перспективы развития льняного сектора России. Вестник Российской академии естественных наук по секции межотраслевых системных исследований. 2015;15(1):59-63.
2. Ущиповский И. В., Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбабченко А. А., Галкин А. В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения. Молочнохозяйственный вестник. 2017;(1(25)):166-186. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28914488>
3. Jhala A. J., Hall L. M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. Aust. J. Basic Appl Sci. 2010;4(9):4304-4312. URL: https://www.researchgate.net/publication/228952435_Flax_Linum_usitatissimum_L_Current_uses_and_future_applications
4. Рожмина Т. А., Павлова Л. Н., Понажев В. П., Захарова Л. М. Льняная отрасль на пути к возрождению. Защита и карантин растений. 2018;(1):3-8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32368923>
5. Смирнова Л. А., Поздняков Б. А., Рожмина Т. А., Понажев В. П., Павлова Л. Н. Льняной комплекс России: факторы и условия эффективного развития. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. 142 с.
6. Рожмина Т. А., Жученко А. А. мл., Мельникова Н. В., Смирнова А. Д. Устойчивость образцов генофонда льна к эдафическому стрессу. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):133-140. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140>
7. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М.: РУДН, 2001. Т.1. 780 с.
8. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):617-626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus>
9. Павлова Л. Н., Герасимова Е. Г., Румянцева В. Н., Кудрявцева Л. П. Новые сорта льна-долгунца – основа повышения эффективности отрасли льноводства. Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: науч. пособие. Тверь: Твер. гос. универ., 2018. С. 23-25.
10. Трабурова Е.А., Рожмина Т.А., Андреева И.А. Скрининг образцов генофонда льна по урожайности волокна и их адаптивности к условиям Центрального Нечерноземья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(6):688-696. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696>
11. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):114-123. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123>
12. Драгавцев В. А., Драгавцева И. А., Ефимова И. Л., Маринец А. С., Савин И. Ю. Управление взаимодействием «генотип-среда» – важнейший рычаг повышения урожаев сельскохозяйственных растений. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2016;(59):105-121.
13. Степин А. Д., Рысев М. Н., Кострова Г. А., Уткина С. В. Основные направления и результаты научных исследований Псковского НИУ по селекции льна-долгунца. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(2):14-20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41309097>
14. Голуб И. А. Лен Беларуси: монография. Минск: ЧУП «Орех», 2003. 245 с. Режим доступа: <https://www.twirpx.org/file/2390161/>
15. Rasukas A., Jankauskiene Z., Jundulas J. Asakaviciute R. Research of technical crops (polato and flax) genetic resources in Lithuania. Agronomy Research. 2009;7(1):59-72. URL: <https://agronomy.emu.ee/vol071/p7107.pdf>
16. Рыбась И. А., Марченко Д. М., Некрасов Е. И., Иванисов М. М., Гричаникова Т. А., Романюкина И. В. Оценка параметров адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы. Зерновое хозяйство России. 2018;(4):51-54. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-51-54>

17. Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Юсова О. А., Сафонова И. В. Адаптивность урожайности ярового овса в условиях Омского Прииртышья. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018;179(4):28-38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36866709>
18. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop. Sci. 1966;6(1):38-40. URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
19. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop. Sci. 1981;21(6):27-29. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X0021000600033x>
20. Юсова О. А. Николаев П. Н. Эффективность применения различных методик для расчета пластичности и стабильности сортов на примере ярового ячменя. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(1):98-104. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-98-104>
21. Байкалова П. Б., Серебренников Ю. И. Оценка адаптивного потенциала сортов твердой яровой пшеницы по урожайности. Вестник КрасГАУ. 2021;(2):46-55. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-46-55>
22. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):141-151. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151>
23. Королев К. П., Боме Н. А. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Белоруссии. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):615-621. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>

References

1. Rozhmina T. A., Ponazhev V. P. Condition and prospects of development of linen sector of Russia. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk po sektu mezhotraslevykh sistemnykh issledovaniy*. 2015;15(1):59-63. (In Russ.).
2. Ushchapovskiy I. V., Novikov E. V., Basova N. V., Bezbabchenko A. A., Galkin A. V. System problems of flax growing in Russia and abroad, the possibilities of their solution. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2017;(1(25)):166-186. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28914488>
3. Jhala A. J., Hall L. M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. *Aust. J. Basic Appl Sci.* 2010;4(9):4304-4312. URL: https://www.researchgate.net/publication/228952435_Flax_Linum_usitatissimum_L_Current_uses_and_future_applications
4. Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Ponazhev V. P., Zakharova L. M. Linen industry on the way to revival. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018;(1):3-8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32368923>
5. Smirnova L. A., Pozdnyakov B. A., Rozhmina T. A., Ponazhev V. P., Pavlova L. N. Linen complex of Russia: factors and conditions of effective development. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2013. 142 p.
6. Rozhmina T. A., Zhuchenko Jr. A. A., Melnikova N. V., Smirnova A. D. Resistance of flax gene pool samples to edaphic stress caused by low acidity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(2):133-140. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140>
7. Zhuchenko A. A. Adaptive plant breeding system (ecological and genetic foundations). Moscow: RUDN, 2001. Vol.1. 780 p.
8. Rybas' I. A. Breeding grain crops to increase adaptability (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2016;51(5):617-626. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus>
9. Pavlova L. N., Gerasimova E. G., Rumyantseva V. N., Kudryavtseva L. P. New varieties of flax are the basis for increasing the efficiency of the flax industry. Scientific support for the production of spinning crops: state, problems and prospects: scientific. stipend. Tver': Tver. gos. univer., 2018. pp. 23-25.
10. Traburova E. A., Rozhmina T. A., Andreeva I. A. Screening of flax gene pool samples by fiber yield and their adaptability to the conditions of the Central Non-Black Earth Region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(6):688-696. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696>
11. Sapega V. A., Tursumbekova G. S. Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(2):114-123. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123>
12. Dragavtsev V. A., Dragavtseva I. A., Efimova I. L., Marinets A. S., Savin I. Yu. Management by «genotype-environment» interaction - most important lever for increase of cultivated plants yields. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016;(59):105-121. (In Russ.).
13. Stepin A. D., Rysev M. N., Kostrova G. A., Utkina S. V. The main directions and results of scientific research of the Pskov Research Institute for the selection of flax. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019;(2):14-20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41309097>
14. Golub I. A. Flax of Belarus: monograph. Minsk: ChUP «Orekh», 2003. 245 p. URL: <https://www.twirpx.org/file/2390161/>
15. Rasukas A., Jankauskiene Z., Jundulas J., Asakaviciute R. Research of technical crops (polato and flax) genetic resources in Lithuania. *Agronomy Research*. 2009;7(1):59-72. URL: <https://agronomy.emu.ee/vol071/p7107.pdf>

16. Rybas I. A., Marchenko D. M., Nekrasov E. I., Ivanisov M. M., Grichanikova T. A., Romanyukina I. V. Assessment of parameters of winter soft wheat adaptability. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2018;(4):51-54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-51-54>
17. Nikolaev P. N., Aniskov N. I., Yusova O. A., Safonova I. V. Adaptability of spring oat yield in the environments of the Near-Irtysh area in Omsk province. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2018;179(4):28-38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36866709>
18. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci.* 1966;6(1):38-40. URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
19. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop. Sci.* 1981;21(6):27-29. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>
20. Yusova O. A., Nikolaev P. N. Efficiency of application of various methods for plasticity and stability calculation of varieties on the example of spring barley. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(1):98-104. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-98-104>
21. Baykalova P. B., Serebrennikov Yu. I. Otsenka adaptivnogo potentsiala sortov tverdogo yarovoy pshenitsy po urozhaynosti. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2021;(2):46-55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-46-55>
22. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Screening of fiber flax varieties from the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of the Northwestern region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):141-151. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151>
23. Korolev K. P., Bome N. A. Evaluation of flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes on environmental adaptability and stability in the north-eastern Belarus. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):615-621. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>

Сведения об авторах

✉ **Степин Александр Дмитриевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зам. директора, обособленное подразделение Псковский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9009-878X>, e-mail: otdellna@yandex.ru

Рысев Михаил Николаевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, обособленное подразделение Псковский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9291-7593>

Рысева Тамара Андреевна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, обособленное подразделение Псковский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5420-8419>

Уткина Светлана Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, обособленное подразделение Псковский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7006-6713>

Information about the authors

✉ **Alexander D. Stepin**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Deputy Director of the separate division Pskov Research Institute of Agriculture of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9009-878X>, e-mail: otdellna@yandex.ru

Mikhail N. Rysev, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9291-7593>

Tamara A. Ryseva, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5420-8419>

Svetlana V. Utkina, senior researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7006-6713>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.463-470>
УДК 633.853.52:632.954:631.52



Влияние гербицида Пульсар на урожайность и качество семян сои в условиях Приамурья

© 2022. М. П. Михайлова✉

ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Российская Федерация

В статье приведены данные (2017-2019 гг.) о влиянии гербицида Пульсар (д.в. имазамокс) на урожайность и качество семян сои среднеспелого сорта Китросса в условиях Амурской области. Опрыскивание вегетирующих растений сои гербицидом Пульсар в дозе 0,8 л/га проводили в фазу третьего тройчатосложного листа. В результате проведенных исследований установлено, что в среднем за три года применение гербицида Пульсар привело к снижению сохранности растений перед уборкой на 6 % по сравнению с контролем. В результате изучения структуры урожая выявлено, что в среднем за годы исследований обработка вегетирующих растений сои сорта Китросса гербицидом привела к уменьшению количества бобов на растении на 2 шт. ($НСР_{05} = 1,1$ шт/раст.), массы семян с растения – на 0,7 г ($НСР_{05} = 0,5$ г). Биологическая урожайность в зависимости от применения изучаемого гербицида и сложившихся погодных условий в годы исследований уменьшилась в среднем на 0,3 т/га. Энергия прорастания семян, полученных в варианте с применением гербицида Пульсар, снизилась на 5 %, содержание общего белка – на 0,6 % и масла – на 0,39 % относительно контрольного варианта без обработки гербицидом. Отмечена тенденция к увеличению количества ненормально развитых проростков при применении изучаемого гербицида.

Ключевые слова: *Glycine max* (L.) Merrill, энергия прорастания, лабораторная всхожесть, урожайность, биохимический состав семян, сохранность растений к уборке

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» (тема № 0820-2019-0006).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Михайлова М. П. Влияние гербицида Пульсар на урожайность и качество семян сои в условиях Приамурья. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(4):463-470.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.463-470>

Поступила: 26.05.2022

Принята к публикации: 25.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

The effect of Pulsar herbicide on yield and quality of soybean seeds under the conditions of the Amur River Region

© 2022. Maria P. Mikhailova✉

Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean",
Blagoveshchensk, Russian Federation

This article provides data of 2017-2019 on the effect of the Pulsar herbicide (a.i. is imazamox) on the yield and quality of seeds of the Kitrossa mid-season soybean variety under the conditions of the Amur River Region. Vegetative plants were sprayed with the Pulsar herbicide in a dose of 0.8 l/ha at the stage of the third ternate leaf. As the result of the studies performed it was found that over three years the use of the Pulsar herbicide on the average led to a decrease in plant survivability before harvesting by 6 % compared to the control. As the result of studying the structure of the crop it was revealed that, on average, over the years of research, the treatment of vegetative soybean plants of the Kitrossa variety with herbicide led to a decrease in the number of pods by 2 pcs/per 1 plant ($LSD_{05} = 1.1$ pcs/per 1 plant), the weight of seeds from 1 plant – by 0.7 g ($LSD_{05} = 0.5$ g). Depending on the use of the herbicide under study and prevailing weather conditions, biological yield decreased by an average of 0.3 t/ha during the years of research. The germinating energy in the obtained seeds in the variant with the Pulsar herbicide use decreased by 5 %, the crude protein content – by 0.6 % and oil by 0.39 % compared to the control variant without the herbicide use. There was noted a tendency to increasing the number of abnormally developed germinants by using the studied herbicide.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill, germinative power, laboratory germination, yield, seed biochemistry, plant survivability before harvesting

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center «All-Russian Scientific Research Institute of Soybean» (theme No. 0820-2019-0006).

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citation: Mikhailova M. P. The effect of Pulsar herbicide on yield and quality of soybean seeds under the conditions of the Amur River Region. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):463-470. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.463-470>

Received: 26.05.2022

Accepted for publication: 25.07.2022

Published online: 25.08.2022

В современном растениеводстве актуальными проблемами являются обеспечение максимальной реализации сельскохозяйственными растениями потенциала продуктивности и вместе с тем получение высококачественной продукции, не содержащей токсичных для человека и животных веществ, в том числе гербицидов. При этом в сельскохозяйственной практике невозможно обойтись без их применения [1]. Необходимость использования гербицидов диктуется потребностями товарного производства, однако при этом повышается уровень загрязнения окружающей среды как самими гербицидами, так и продуктами их метаболизма [2].

На российском рынке имеется широкий ассортимент гербицидов для борьбы с различными видами сорной растительности в посевах сои. В последние годы в большинстве регионов России возросла доля гербицидов на основе имазамокса, который впервые был зарегистрирован в США в 1997 г. [3].

Имазамокс относится к группе имидазолиновых гербицидов, контролирующих широкий спектр сорной растительности путем ингибирования фермента синтетазы ацетогидроксикислот (AHAS) (рис. 1).

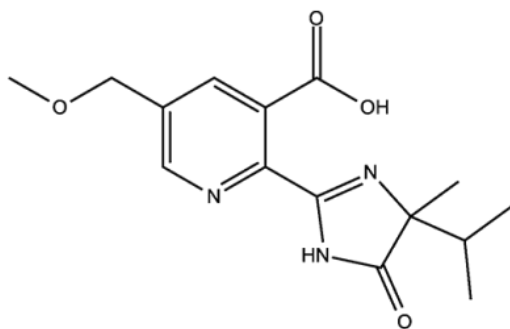


Рис. 1. Структурная формула имазамокса [(RS)-2-(4-изопропил-4-метил-5-оксо-2-имидазолин-2-ил)-5-метоксиметилникотиновая кислота]¹ /

Fig. 1. Structural formula of Imazamox [(RS)-2-(4-isopropyl-4-methyl-5-oxo-2-imidazoline-2-yl)-5-methoxymethyl-nicotinic acid]¹

Данное вещество приводит к блокированию синтеза незаменимых аминокислот, вследствие чего у растения нарушается метаболизм, что приводит к их угнетению [4].

На территории Российской Федерации в настоящее время зарегистрированы и рекомендованы к применению имазамокс, имазапир

и имазапир². Существенным преимуществом гербицида является селективность по отношению к защищаемым культурам и системное действие. Препараты на основе имазамокса приобрели широкое использование в защите от сорняков зернобобовых культур и устойчивых к имидазолинонам гибридов рапса и подсолнечника [5].

Тем не менее у химической прополки имеется существенный недостаток – фитотоксичность используемых препаратов по отношению к культурным растениям. Некоторые гербициды в растениях блокируются компонентами клеток и разлагаются до нетоксичных соединений или до токсичных с последующей инактивацией. Применение почвенных гербицидов изменяет ферментативную активность почвы, что снижает усвоение растениями питательных веществ и значительно сказывается на ее плодородии и урожайности последующих культур [6, 7, 8].

Таким образом, для разработки приемов по улучшению экологической ситуации требуется тщательное изучение не только положительных свойств препаратов целевого назначения, но и прогнозируемого негативного воздействия гербицидов на агроценозы.

Цель исследований – изучить влияние гербицида Пульсар на урожайность и качество семян среднеспелого сорта сои Китросса в условиях Приамурья.

Новизна исследований – впервые в различных погодных условиях Амурской области изучено влияние обработки вегетирующих растений гербицидом Пульсар на посевные качества, биохимический состав и урожайность среднеспелого сорта сои Китросса.

Материал и методы. Полевые опыты проводили на луговых черноземовидных почвах ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» (с. Садовое Тамбовского района Амурской области) в 2017-2019 гг. Почва тяжёлая по гранулометрическому составу, относится к средневодопроницаемым: плотность колеблется от 1,02...1,10 г/см³, пористость – 43,8 %. Содержание гумуса – 2,3...2,7 %, pH – 5,4. Содержание аммиачного азота – 20...40 мг/кг, нитратного – 30...70 мг/кг, подвижного фосфора (метод определения по Кирсанову) – 50...80 мг/кг, обменного калия (по Кирсанову) – 170...200 мг/кг.

¹Определение остаточных количеств пестицидов в пищевых продуктах, сельскохозяйственном сырье и объектах окружающей среды: сборник методических указаний. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2007. Вып. 4. С. 165. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f46/4293752418.pdf>

²Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации: приложение к журналу "Защита и карантин растений". М.: ГУП Чехов. полигр. комб., 2005. 370 с.

Объект исследований – среднеспелый сорт сои Китросса с периодом вегетации в среднем 110-114 дней и максимальной урожайностью 4,2 т/га. Сорт является результатом совместной работы селекционеров России и КНР, включён в Госреестр селекционных достижений в 2016 г., посевные площади в 2020 г. на Дальнем Востоке составили более 25 тыс. га.

Общая площадь делянки опыта – 11,25 м², учетной – 2,25 м², повторность 4-кратная. Расположение делянок – блочно-рандомизированное. Предшественник – чистый пар. Опрыскивание вегетирующих растений гербицидом Пульсар (д.в. имазамокс) в дозе 0,8 л/га проводили в фазу третьего тройчатосложного листа (контроль – вариант без обработки).

Посевные качества семян определяли по ГОСТу 12038-84. Количественное содержание и качественный состав белка и жира в семенах сои определяли на ИК-анализаторе Foss Nir-

system 5000 (Дания) в соответствии с ГОСТ Р 32749-2014. Данный метод основан на регистрации спектров отражения анализируемых проб в ближней инфракрасной области и определении в них массовых долей сырого протеина и некоторых аминокислот. Расчет значений показателей проводили по предварительно созданным градуировочным моделям, статистическую обработку экспериментальных данных – методом дисперсионного анализа в программе STATISTICA 10. Сведения по температуре воздуха представлены по данным метеостанции г. Благовещенска, количеству осадков – по данным метеопоста, расположенного вблизи опытного поля института в с. Садовое Тамбовского района Амурской области.

Результаты и их обсуждение. Исследования проводили в период с 2017 по 2019 год, который характеризовался различными погодными условиями (рис. 2).

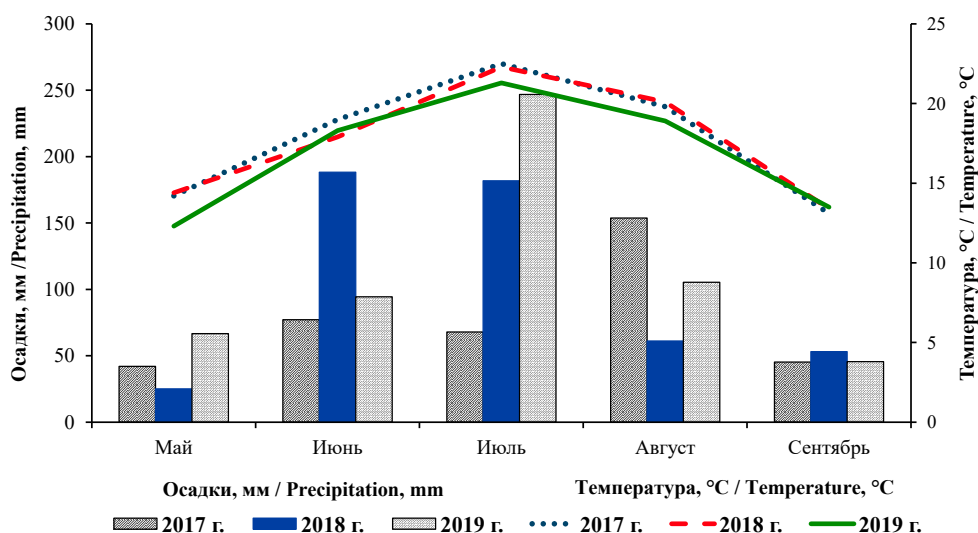


Рис. 2. Среднемесячная температура воздуха и количество осадков за вегетационные периоды 2017-2019 гг. /

Fig. 2. Average monthly air temperature and precipitation for the 2017-2019 vegetational seasons

Вегетационный период 2017 года характеризовался неустойчивым температурным режимом, недостатком влаги в отдельные фазы развития растений сои. В начале июня отмечены резкие перепады температур – от 9,5 до 21,5 °C. Среднемесячная температура воздуха составила 19,0 °C, что несколько выше климатической нормы. Осадков выпало 77,2 мм, что на 9 % ниже многолетней нормы. Резкие перепады температур и недостаток влаги тормозили рост и развитие растений сои. В июле наблюдалась высокая температура воздуха и недостаток

влаги. Осадков выпало 64 % от нормы. Показатели температуры всех трех декад находились в пределах многолетних значений или выше на 1 °C. Несколько повышенный температурный режим в июле ускорил накопление тепла. Дожди прошли в основном во второй декаде месяца. Август характеризовался неустойчивым температурным режимом: температура воздуха изменялась от 7,4 до 26,0 °C, выпадение осадков превысило норму на 49 %.

Погодные условия 2018 года были затруднительными для возделывания сои.

Отмечено избыточное или недостаточное увлажнение почвы и неравномерный температурный фон – повышенный в начале и конце вегетации. Превышение температуры в мае, июле, августе, сентябре и октябре составило от 0,8 до 2,7 °С от среднегодовой. По влагообеспеченности данный вегетационный период не соответствовал норме, требуемой для культуры сои. Недостаток влаги в период прорастания сои негативно отразился на всходах, которые были недружные. В июле выпало 181,8 мм, что превысило норму на 73,8 мм. В эти периоды наблюдалось сильное переувлажнение почвы, гибель растений на отдельных участках.

Наиболее благоприятным для роста и развития сои был температурный режим вегетационного периода 2019 года. Первые две декады мая характеризовались температурой воздуха на 0,7-1,0 °С выше климатической нормы, что привело к устойчивому переходу среднесуточной температуры воздуха через +10 °С на 7 дней раньше среднегодовой даты. Выпавшие во второй и третьей декадах осадки сопровождались накоплением почвенной влаги в слое 0-20 см и способствовали созданию благоприятных условий для посева и появления всходов сои. Первые декады июня сопровождались ливнями, количество которых составило 64 % от месячной нормы, что привело к частичному переувлажнению почвы. Достаточная влагообеспеченность почвы и теплая погода способствовали продуктивному развитию растений сои в фазу цветения. Гидротермический режим августа и сентября находился в пределах среднегодовых показателей, что положительно сказалось на развитии сои в период образования бобов – налива семян. Уборка культуры прошла в оптимальные сроки.

Одним из важнейших элементов, определяющих урожайность зерна, считается количество продуктивных стеблей, сохранившихся к уборке. В среднем за три года исследований

обработка вегетирующих растений сои сорта Китросса гербицидом Пульсар в дозе 0,8 л/га снизила сохранность растений к уборке на 6 % по сравнению с контролем (рис. 3).

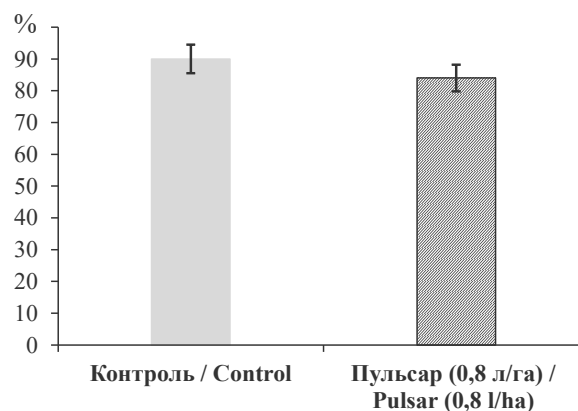


Рис. 3. Сохранность растений сои сорта Китросса перед уборкой (среднее за 2017-2019 гг.) /

Fig. 3. Survivability of the Kitrossa soybean variety plants before harvesting (average for 2017-2019)

Наибольшее снижение сохранности растений было отмечено в условиях частичного переувлажнения почвы 2019 г., где данный показатель уменьшился на 13 % относительно контроля и составил 72 %.

Известно, что гербициды оказывают отрицательное воздействие на физиологическое состояние и биохимические показатели растений сои, что неизбежно приводит к снижению их биологической продуктивности, ухудшению технологических свойств полученного урожая и качества семян [9, 10, 11]. В результате изучения структуры урожая выявлено, что в среднем за годы исследований обработка вегетирующих растений сои сорта Китросса гербицидом Пульсар привела к уменьшению количества бобов на растении на 2 шт. ($HC_{05} = 1,1$ шт/раст.), массы семян с растения – на 0,7 г ($HC_{05} = 0,5$ г) (табл. 1).

Таблица 1 – Биометрические показатели растений сои сорта Китросса (среднее за 2017-2019 гг.) /
Table 1 – Biometric indicators of the Kitrossa soybean variety plants (average for 2017-2019)

Вариант опыта / Experiment variant	Количество, шт/раст. / Quantity, pcs/plant		Масса семян с растения, г / Weight of seeds from plant, g
	бобов / pods	семян / seeds	
Контроль (без обработки) / Control (no treatment)	27,1	53,7	8,7
Пульсар – 0,8 л/га (опрыскивание вегетирующих растений) / Pulsar – 0.8 l/ha (vegetative plant spraying)	25,1	52,1	8,0
HC_{05} / LSD_{05}	1,1	2,4	0,5

В зависимости от применения гербицида и сложившихся метеоусловий 2017-2019 гг. биологическая урожайность семян в среднем составила от 2,36 до 3,30 т/га.

В 2017 году несколько повышенный температурный режим в период вегетации способствовал накоплению тепла, в результате чего отмечено интенсивное развитие растений

сои. Биологическая урожайность в контроле получена больше на 0,68 т/га по сравнению с 2018 г., на 0,47 т/га – в сравнении с 2019 г. и составила 3,30 т/га. Однако гербицидная обработка оказала негативное воздействие на растения сои, снизив на 0,2 т/га биологическую урожайность по сравнению с контрольным вариантом ($HCP_{05} = 0,17$ т/га) (табл. 2).

Таблица 2 – Биологическая урожайность сои сорта Китросса, т/га /
Table 2 – Biological yield of the Kitrossa soybean variety, t/ha

Вариант опыта / Experiment variant	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее / Average	Прибавка / Increase
Контроль (без обработки) / Control (no treatment)	3,30	2,62	2,83	2,92	-
Пульсар – 0,8 л/га (опрыскивание вегетирующих растений) / Pulsar – 0.8 l/ha (vegetative plant spraying)	3,10	2,40	2,36	2,62	-0,3
HCP_{05} / LSD_{05}	0,17	0,20	0,36	0,30	-

Обработка вегетирующих растений сои сорта Китросса гербицидом Пульсар в условиях переувлажнения почвы в течение вегетационного периода 2018 г. привела к уменьшению урожайности изучаемого сорта на 0,22 т/га по сравнению с контролем.

В условиях 2019 г. при достаточном обеспечении растений влагой – с фазы третьего тройчатосложного листа до фазы образования бобов, обработка вегетирующих растений сои изучаемым гербицидом снизила урожайность семян на 0,47 т/га относительно контроля ($HCP_{05} = 0,36$ т/га). Таким образом, в среднем за три года исследований использование гербицида Пульсар для обработки вегетирующих растений сои уменьшило биологическую урожайность на 0,3 т/га.

Использование гербицидной обработки является одним из немаловажных факторов, оказывающих влияние на биохимический состав семян. В среднем за два года исследований обработка посевов сои сорта Китросса гербицидом Пульсар в дозе 0,8 л/га в фазу третьего тройчатосложного листа привела к снижению содержания общего белка на 0,6 % относительно контроля (в 2018 г. на 0,84 %, в 2019 г. – на 0,36 %) и на 0,39 % – масла в полученных семенах. Также отмечены определенные изменения по содержанию количества отдельных жирных кислот. Применение изучаемого гербицида способствовало увеличению в среднем на 0,73 % линоленовой кислоты, что является нежелательным, так как наилучшими считаются сорта сои с пониженным ее содержанием, содержание олеиновой кислоты

в среднем увеличилось на 0,8 % по сравнению с контролем (табл. 3).

Так как гербициды действуют на растения сои непосредственно и косвенно (в связи с подавлением сорной растительности), то необходимым условием является выявление их влияния на посевные качества семян. Энергия прорастания является одним из важнейших показателей посевных качеств семян, характеризующая скорость и дружность их прорастания. В среднем за годы исследований снижение энергии прорастания на 5 %, по сравнению с контролем, отмечено в варианте с применением гербицида Пульсар (рис. 4).

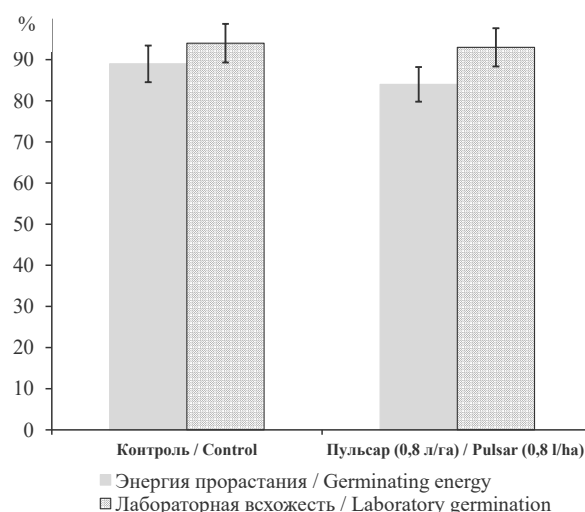


Рис. 4. Последствие обработки растений гербицидом Пульсар на посевные качества семян сои сорта Китросса (среднее за 2017-2019 гг.) /

Fig. 4. Aftereffect of plant treatment with the Pulsar herbicide on sowing qualities of the Kitrossa variety soybean seeds (average for 2017-2019)

Таблица 3 – Влияние последействия гербицида Пульсар на содержание белка, количественный и качественный состав жира в семенах сои сорта Китросса, % (2018-2019 гг.) /

Table 3 – Influence of the Pulsar herbicide aftereffect on the protein content, quantitative and qualitative composition of fat in the Kitrossa variety soybean seeds, % (2018-2019)

Вариант опыта / Experiment variant	Содержание / Content		Жирные кислоты / Fatty acids		
	белка / protein	масла / oil	линоленовая / linolenic	олеиновая / oleinic	стеариновая / stearic
2018 г.					
Контроль (без обработки) / Control (no treatment)	39,65	18,18	8,60	16,19	3,83
Пульсар – 0,8 л/га (опрыскивание вегетирующих растений) / Pulsar – 0.8 l/ha (vegetative plant spraying)	38,81	17,11	9,36	16,48	3,83
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,54	0,60			
F _{факт.} / F _f	2,06	3,12			
F _{теор.} / F _t	0,23	1,01			
2019 г.					
Контроль (без обработки) / Control (no treatment)	40,61	16,88	7,83	16,84	3,78
Пульсар – 0,8 л/га (опрыскивание вегетирующих растений) / Pulsar – 0.8 l/ha (vegetative plant spraying)	40,25	17,16	8,24	18,16	3,71
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,21	0,15			
F _{факт.} / F _f	4,35	3,37			
F _{теор.} / F _t	1,47	1,11			

Под влиянием гербицида происходит снижение массовой доли запасных элементов питания в семядолях, которая определяет скорость роста проростка при прорастании, что, возможно, негативно скажется при посеве на следующий год. Лабораторная всхожесть в варианте с использованием гербицида Пульсар была на уровне контроля.

На начальном этапе онтогенеза растений сои сорта Китросса гербицид Пульсар не оказал существенного воздействия на силу роста семян. Отмечено, что количество ненормально развитых проростков увеличилось при применении гербицида на 3 % (табл. 4).

Таблица 4 – Первоначальный рост семян сои сорта Китросса после обработки растений гербицидом Пульсар (среднее за 2017-2019 гг.) /

Table 4 – Initial growth of the Kitrossa variety soybean seeds after treatment of plants with the Pulsar herbicide (average for 2017-2019)

Вариант опыта / Experiment variant	Ненормально развитые проростки, % / Abnormal seedlings, %	Длина проростка / Seedling length		
		среднее значение, см / average, cm	размах вариации, % / variability range, %	коэффициент вариации, % / variation coefficient, %
Контроль (без обработки) / Control (no treatment)	5,0	33,3	15,8	9,5
Пульсар – 0,8 л/га (опрыскивание вегетирующих растений) / Pulsar – 0.8 l/ha (vegetative plant spraying)	8,0	33,0	21,1	11,6
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		1,8		
F _{факт.} / F _f		8,06		
F _{теор.} / F _t		1,72		

Размах вариации в варианте с применением гербицида составил 21,1 %, в контроле – 15,8 %. Следовательно, в контрольном варианте было наиболее полное и дружное прорастание семян.

Заключение. Таким образом, применение гербицида Пульсар в дозе 0,8 л/га по вегетирующим растениям в фазу третьего тройчатосложного листа, а также влияние сложившихся погодных условий в годы иссле-

дований, оказали негативное воздействие на растения сои, что подтверждается уменьшением урожайности и снижением качества семян сои сорта Китросса. Биологическая урожайность семян в среднем уменьшилась на 0,3 т/га, содержание белка в семенах – на 0,6 %, энергия прорастания семян – на 5 %. Отмечена тенденция к увеличению количества ненормально развитых проростков при применении изучаемого гербицида.

Список литературы

1. Лукаткин А. С., Семенова А. С., Лукаткин А. А. Влияние регуляторов роста на проявления токсического действия гербицидов на растения. *Агрохимия*. 2016;(1):73-95.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25797163>
2. Эмирова Д. Э. Оценка фитотоксического и цитотоксического действия гербицида Раундап. Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Серия: Биологические науки. 2021;(1):27-34.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45700450>
3. The pesticide manual, 13th ed. Ed: C. D. S. Tomlin. Alton, UK: British Crop Protection Council Publications. 2003. pp. 552-553.
URL: https://www.researchgate.net/publication/257085125_The_Pesticide_Manual_CDS_Tomlin_BCPC_Publications_Berkshire_UK_2000_1276_pp_165_ISBN_1-901396-12-6
4. Михайлова М. П., Каманина Л. А., Синеговская В. Т. Изменение ферментативной активности и биохимического состава семян сои под влиянием гербицида. Вестник Камчатского государственного технического университета. 2019;(49):76-80. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2019-49-76-80>
5. Большов А. В., Нестерова Л. М., Долженко В. И. Биологическая эффективность гербицида Парадокс. Защита и карантин растений. 2016;(10):44-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26738485>
6. Куликова Н. Ф. Гербициды и экологические аспекты их применения. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 152 с.
7. Girdhari L., Hiremathand S. M., Chandra K. Imazethapyr effects on soil enzyme activity and nutrient uptake by weeds and greengram (*Vigna radiata* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2017;6(3):247-253. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.027>
8. Pérez G. L., Vera M. S., Miranda L. A. Effects of herbicide glyphosate and glyphosate-based formulations on aquatic ecosystems. *Herbicides and Environment*. 2011. pp. 343-368. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/12877>
9. Синеговская В. Т., Душко О. С., Журавлева Е. В. Влияние гербицидов на фотосинтетическую деятельность и ферментативную активность листового аппарата сои. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2019;(132):149-156. DOI: <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.132.2019.21>
10. Sinegovskaya V., Dushko O. Role of enzyme activity in increasing soybean plants' resistance to herbicides. E3S Web of Conferences. Сер. "International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations", FARBA 2021". 2021;254:02007. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125402007>
11. Carla Alves Effect of herbicides in the oxidative stress in crop winter species. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2018;90(2):1533-1542 (Annals of the Brazilian Academy of Sciences). DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170482>

References

1. Lukatkin A. S., Semenova A. S., Lukatkin A. A. The influence of growth regulators on the existence of toxic effects of herbicides on plants. *Agrokhimiya*. 2016;(1):73-95. (In Russ.).
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25797163>
2. Emirova D. E. Evaluation of the fitotoxic and cytotoxic effects of roundup herbicide. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Biologicheskie nauki*. 2021;(1):27-34. (In Russ.).
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45700450>
3. The pesticide manual, 13th ed. Ed: C. D. S. Tomlin. Alton, UK: British Crop Protection Council Publications. 2003. pp. 552-553.
URL: https://www.researchgate.net/publication/257085125_The_Pesticide_Manual_CDS_Tomlin_BCPC_Publications_Berkshire_UK_2000_1276_pp_165_ISBN_1-901396-12-6

4. Mikhailova M. P., Kamanina L. A., Sinegovskaya V. T. Change in the enzymatic activity and biochemical composition of soybean seeds under the influence of herbicide. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Bulletin of Kamchatka State Technical University. 2019;(49):76-80. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2019-49-76-80>
5. Bolshov A. V., Nesterova L. M., Dolzhenko V. I. Biological effectiveness of the herbicide paradoks. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2016;(10):44-46. (IN Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26738485>
6. Kulikova N. F. Herbicides and ecological aspects of their application. Moscow: Knizhnyy dom «LIBROKOM», 2010. 152 p.
7. Girdhari L., Hiremathand S. M., Chandra K. Imazethapyr effects on soil enzyme activity and nutrient uptake by weeds and greengram (*Vigna radiata* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2017;6(3):247-253. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.027>
8. Pérez G. L., Vera M. S., Miranda L. A. Effects of herbicide glyphosate and glyphosate-based formulations on aquatic ecosystems. *Herbicides and Environment*. 2011. pp. 343-368. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/12877>
9. Sinegovskaya V. T., Dushko O. S., Zhuravleva E. V. Influence of herbicides on photosynthetic and fermentation activity of soybean leaf apparatus. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* = Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens. 2019;(132):149-156. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.132.2019.21>
10. Sinegovskaya V., Dushko O. Role of enzyme activity in increasing soybean plants' resistance to herbicides. *E3S Web of Conferences*. Ser. "International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations", FARBA 2021". 2021;254:02007. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125402007>
11. Carla Alves Effect of herbicides in the oxidative stress in crop winter species. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2018;90(2):1533-1542 (Annals of the Brazilian Academy of Sciences). DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170482>

Сведения об авторе

✉ **Михайлова Мария Павловна**, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» ул. Игнатьевское ш., 19, г. Благовещенск, Амурская область, Российская Федерация, 675025, e-mail: info@vniisoi.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-8348>, e-mail: mihaylovamariya@mail.ru

Information about the authors

✉ **Mariya P. Mikhailova**, senior researcher, the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Ignatevsky highway, 19, Blagoveshchensk, Amur region, Russian Federation, 675025, e-mail: info@vniisoi.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-8348>, e-mail: mihaylovamariya@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оценка хозяйственно-биологических признаков исходного материала люцерны на юге Ростовской области

© 2022. А. А. Регидин[✉], С. А. Игнатьев, К. Н. Горюнов, Н. С. Кравченко
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Ростовская область,
Российская Федерация

Люцерна – многолетняя бобовая культура, играющая важную роль в производстве кормов. Высокая востребованность люцерны во всем мире, в том числе и Российской Федерации, приводит к необходимости создания новых высокоурожайных сортов с высоким качеством корма. Цель исследований – морфо-биологический анализ 198 образцов коллекционного питомника люцерны (посев 2018 г.) и выявление источников полезных хозяйственно-биологических признаков в сравнении со стандартным сортом Ростовская 90 (Россия). Исследования проводили в 2019-2021 гг. По результатам исследований выделены источники полезных признаков: по высоте растений (105-107 см) – Pickstar (Канада), Saranac A.R. (США), Г118/13 (Россия); облиственности (свыше 50 %) – Caraveli (Перу), Saranac A.R. (США), Лиска (Украина), Сарга, Г 19/13, Г 144/13, отбор 5, Син 6, Син 36/95 (Россия); урожайности зелёной массы (4,83-5,79 кг/м²) – отбор 79, Уралочка, Г-3, Г-5, Донская 5, Г 97/13, Г 8/13, Г 73/13 (Россия); содержанию сухого вещества (свыше 29 %) – Saga (Канада), отбор 6, Син 1, д. 14813, Г-2, Син 36/95, отбор 33, отбор 34, д. 4576 (Россия) и сырого протеина (свыше 21 %) – Сарга (Россия), Карлыгаш и Алиа (Казахстан). Выделенные образцы будут использованы в качестве родительских форм в селекции люцерны на кормовую продуктивность.

Ключевые слова: Medicago L., высота растений, облиственность, зелёная масса, сухое вещество, сырой протеин

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № 0505-2022-0003).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Регидин А. А., Игнатьев С. А., Горюнов К. Н., Кравченко Н. С. Оценка хозяйственно-биологических признаков исходного материала люцерны на юге Ростовской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):471-479. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.471-479>

Поступила: 13.04.2022

Принята к публикации: 15.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Estimation of economic and biological traits of the alfalfa initial material in the south of the Rostov region

© 2022. Andrey A. Regidin[✉], Stanislav A. Ignatiev, Kirill N. Goryunov, Nina S. Kravchenko
Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Rostov region, Russian Federation

Alfalfa is a perennial legume that plays an important role in feed production. The high demand for alfalfa all over the world, including the Russian Federation, results in the necessity to develop new high-yielding varieties with high quality feed. The purpose of the current study was the morpho-biological analysis of 198 alfalfa collection nursery samples (sown in 2018) and the identification of sources of useful economic and biological traits in comparison with the standard variety ‘Rostovskaya 90’ (Russia). The study was conducted in 2019-2021. Based on the study results there have been identified the following sources of useful traits: Pickstar (Canada), Saranac A.R. (USA), G118/13 (Russia); according to plant height (105-107 cm); Caraveli (Peru), Saranac A.R. (USA), Liska (Ukraine), Sarga, G 19/13, G 144/13, Selection 5, Sin 6, Sin 36/95 (Russia) according to foliage (over 50 %); Selection 79, Uralochka, G-3, G-5, Donskaya 5, G 97/13, G 8/13, G 73/13 (Russia); according to green mass productivity (4.83-5.79 kg/m²); Saga (Canada), Selection 6, Sin 1, d. 14813, G-2, Sin 36/95, Selection 33, Selection 34, d. 4576 (Russia) according to dry matter content (over 29 %); Sarga (Russia), Karlygash and Aliya (Kazakhstan) according to crude protein content (over 21 %). The identified samples will be used as parental forms in alfalfa breeding for feed productivity.

Keywords: Medicago L., plant height, foliage, green mass, dry matter, crude protein

Acknowledgements: the work was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the “ARC “Donskoy” (theme No. 0505-2022-0003).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Regidin A. A., Ignatiev S. A., Goryunov K. N., Kravchenko N. S. Estimation of economic and biological traits of the alfalfa initial material in the south of the Rostov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):471-479. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.471-479>

Received: 13.04.2022

Accepted for publication: 15.07.2022

Published online: 25.08.2022

Одной из основных кормовых культур в сельском хозяйстве является люцерна. Эта многолетняя бобовая культура играет важную роль в производстве кормов [1, 2, 3]. Её возделывание экономически и экологически обосновано, поэтому люцерну выращивают более чем в 80 странах мира [4, 5]. Люцерна может давать высокий урожай кормовой массы с хорошим качеством, имеет важное агротехническое значение на орошаемых землях и рисовых севооборотах. Она является важным компонентом травосмесей для сенокосов и пастбищ [6, 7]. Люцерновый корм, помимо хороших вкусовых качеств, является источником высокого содержания белка, витаминов и минералов, что делает его полезным в рационе КРС и птицы [8, 9]. Немаловажную роль при возделывании люцерны играет её способность фиксировать атмосферный азот и обогащать им почву, что способствует устойчивости сельскохозяйственных экосистем [10]. В связи с тем, что биологический азот во много раз дешевле технического, европейские селекционные компании расширяют программы по работе с бобовыми травами [11].

Экономическое состояние в России сдерживает развитие животноводства и рост посевных площадей под кормовыми культурами и люцерной в том числе [12]. Но и в этих условиях высокая востребованность люцерны во всём мире, а также и в Российской Федерации, приводит к необходимости создания новых высокоурожайных качественных сортов, адаптированных к изменяющимся погодно-климатическим условиям. Важным этапом селекционного процесса является изучение исходного материала с последующим подбором родительских форм.

Цель исследований – провести морфо-биологический анализ образцов коллекционного питомника люцерны и выявить источники полезных хозяйственно-биологических признаков для дальнейшего их использования в создании новых сортов люцерны.

Научная новизна – выявлены коллекционные образцы люцерны с полезными хозяйственно-биологическими признаками для использования в селекции на повышение кормовой продуктивности.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Аграрного научного центра «Донской» (АНЦ «Донской»). В 2018 г. проведен посев коллекционного

питомника люцерны в количестве 198 образцов, из которых 88 – из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР), 110 – селекции АНЦ «Донской». Образцы изучаемой коллекции представлены двумя видами – *M. varia* и *M. sativa*. В качестве стандарта служил сорт люцерны Ростовская 90 селекции АНЦ «Донской». Изучение морфо-биологических и хозяйственных признаков и свойств проводили в 2019-2021 гг. Фенологические наблюдения, учеты урожая и промеры выполняли согласно методическим указаниям¹. Учет зеленой массы проводили в первом укосе в фазу «начало цветения» растений.

Почвенный покров представлен чернозёмом обыкновенным мощным карбонатным тяжелосуглинистым. В пахотном слое 0-30 см содержание гумуса 3,5 % (ГОСТ 26213-91), подвижных соединений фосфора – 24 мг/кг, калия – 340 мг/кг почвы (ГОСТ 26204-91), pH – 7.1 (ГОСТ 26423-85).

Учётная площадь трехрядковой делянки – 1 м², повторность двукратная. Статистическая обработка данных выполнена с использованием программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0.

Количество осадков в период вегетации люцерны в 2019 и 2020 гг. было меньше среднемноголетнего значения (268,2 мм) и составляло 238,4 и 242,3 мм соответственно (89 и 90 % от нормы), количество осадков в 2021 г. превышало среднемноголетний показатель (340,3 мм) на 27 %. Среднесуточные температуры во все годы изучения были на 0,6-5,2 °C выше среднемноголетних. На фоне высоких среднесуточных температур растения люцерны испытывали недостаток влаги, особенно во второй половине вегетации.

Результаты и их обсуждение. Кормовая продуктивность люцерны напрямую зависит от высоты растений. В наших исследованиях, в среднем за 3 года изучения, высота растений образцов люцерны варьировала от 65 до 107 см, 88,4 % образцов имели высоту 80-100 см (рис. 1).

Наиболее высокорослые образцы, существенно превысившие стандарт Ростовская 90, представлены в таблице 1. Наряду с высокорослостью у образца Sarapas A.R. зафиксирована хорошая облиственность (50 %), образец Г 118/13 выделился высоким содержанием сырого протеина.

¹Методические указания по изучению мировой коллекции многолетних кормовых растений. Л.: ВИР, 1985. 48 с.; Методические указания по селекции и первичному семеноводству многолетних трав. М.: ВНИИ кормов, 1993. 112 с.

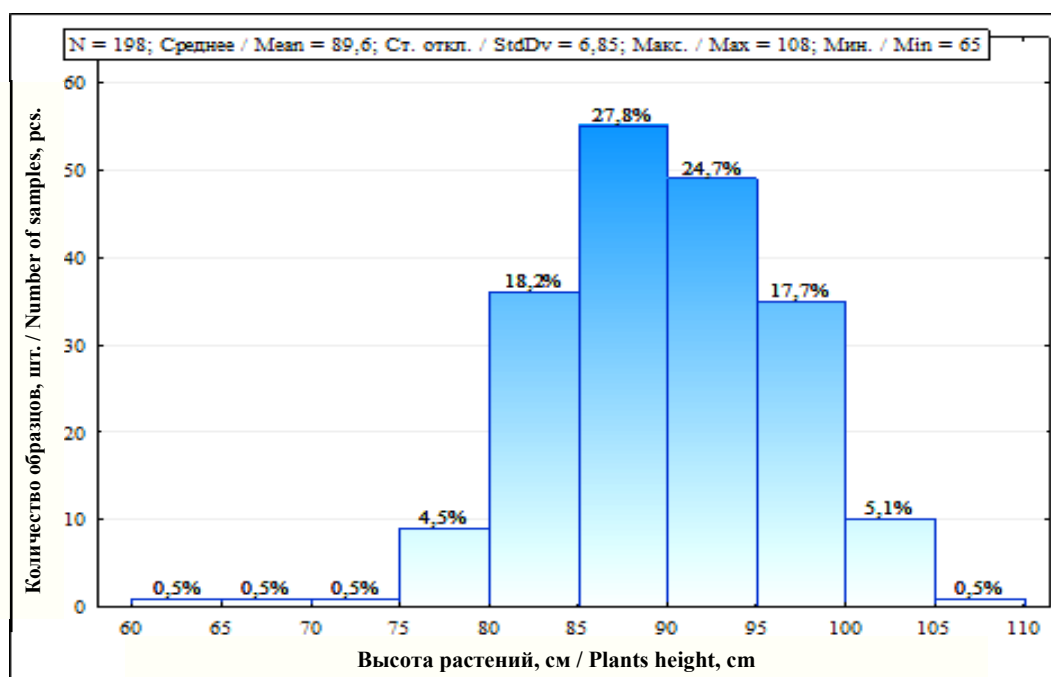


Рис. 1. Распределение образцов люцерны по высоте растений (2019-2021 гг.) /
Fig. 1. Distribution of alfalfa samples by plant height (2019-2021)

Таблица 1 – Морфо-биологическая характеристика источников высокорослости образцов люцерны (2019-2021 гг.) /
Table 1 – Morpho-biological characteristics of the sources of tall alfalfa samples (2019-2021)

Образец / Sample	Происхождение / Origin	Вид / Species	Высота растений, см / Plant height, cm	Облиственность, % / Foliage, %	Зелёная масса, кг/м ² / Green mass, kg/m ²	Сухое вещество, % / Dry matter, %	Сырой протеин, % / Crude protein, %
Ростовская 90, ст. / Rostovskaya 90, st.	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center "Donskoy", Russia	M. varia	92	40	4,00	26,7	18,20
Pickstar	Канада / Canada	M. varia	107	44	1,48	26,5	17,74
Saranac A.R.	США / USA	M. sativa	105	50	3,68	25,9	16,17
Г 118/13 / G 118/13	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center "Donskoy", Russia	M. varia	105	40	4,15	20,7	20,94
НСР ₀₅ / LSD ₀₅			7	4	0,75	1,8	1,29

Наиболее ценной частью вегетативной массы растений являются листья, облиственность – важный признак образцов люцерны. В изучаемой коллекции этот показатель составил в пределах 29-51 % (рис. 2).

При 40%-ной облиственности стандарта Ростовская 90 образцы Saraveli, Saranac A.R., Сарга, Син 6, Лиска, Г 19/13, Г 144/13, отбор 5, Sin 36/95 достоверно превосходили стандарт, их облиственность составляла 50-51 % (табл. 2).

Образец Сарга, выделившийся высокой облиственностью, обладал также высоким содержанием сырого протеина (21,50 %), а образец Sin 36/95 – высоким содержанием сухого вещества (29,6 %).

Ключевым показателем для кормовой культуры является продуктивность зелёной массы, в наших опытах образцы по этому признаку распределились от 1,48 до 5,79 кг/м². Продуктивность большинства образцов составила в пределах 2,5-4,0 кг/м² (рис. 3).

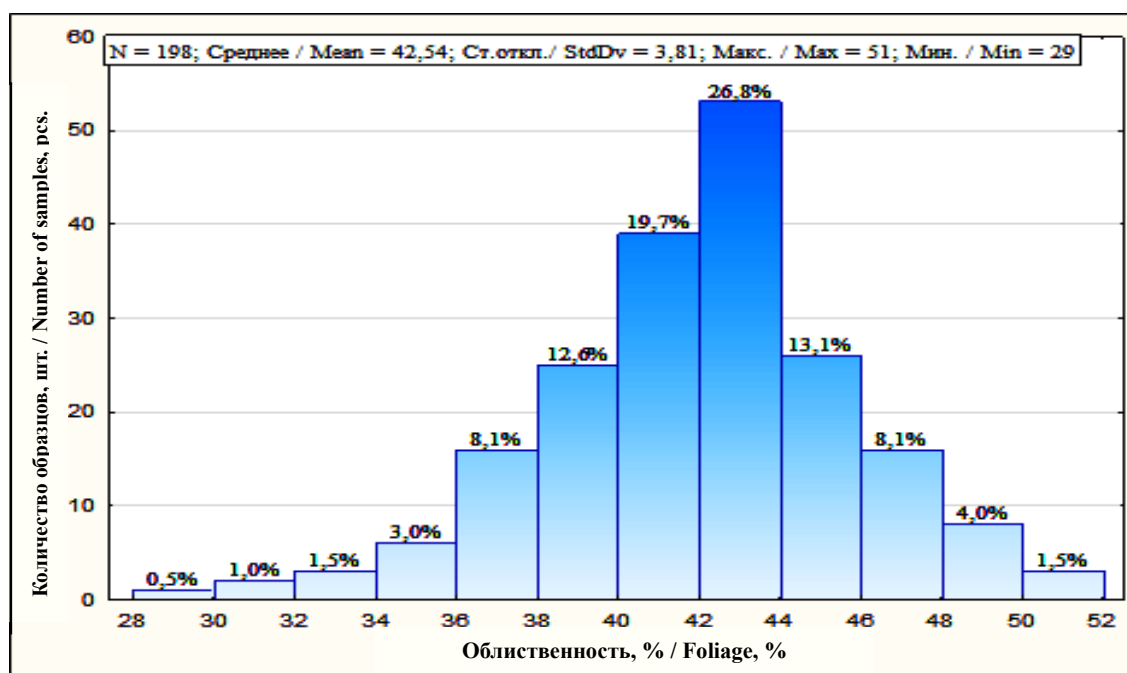


Рис. 2. Распределение образцов люцерны по облиственности растений (2019-2021 гг.) /
Fig. 2. Distribution of alfalfa samples by foliage (2019-2021)

Таблица 2 – Морфо-биологическая характеристика источников высокой облиственности образцов люцерны (2019-2021 гг.) /

Table 2 – Morpho-biological characteristics of the sources of high foliage of alfalfa samples (2019-2021)

Образец / Sample	Происхождение / Origin	Bud / Species	Облиственность, % / Foliage, %	Высота растений, см / Plant height, cm	Зелёная масса, кг/м² / Green mass, kg/m²	Сухое вещество, % / Dry matter, %	Сырой протеин, % / Crude protein, %
Ростовская 90, ст. / Rostovskaya 90, st.	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center “Donskoy”, Russia	M. varia	40	92	4,00	26,7	18,20
Caraveli	Перу / Peru	M. sativa	51	96	3,39	28,5	17,42
Saranac A.R.	США / USA	M. sativa	50	105	3,68	25,9	16,17
Сагра / Sarga	Уральский НИИСХ, Россия / Ural Scientific Research Institute of Agriculture, Russia	M. varia	50	92	4,65	22,0	21,50
Син 6 / Sin 6	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center “Donskoy”, Russia	M. varia	50	94	3,02	26,1	17,24
Лиска / Liska	Украина / Ukraine	M. sativa	50	84	2,96	28,5	18,27
Г 19/13/ G 19/13	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center “Donskoy”, Russia	M. varia	51	88	4,35	28,3	17,16
Г 144/13/ G 144/13			51	91	4,05	24,4	16,64
Sin 36/95			50	85	3,91	29,6	15,36
HCP ₀₅ / LSD ₀₅			4	7	0,75	1,8	1,29

Достоверно превосходили стандарт всего
8 образцов с урожайностью 4,83-5,79 кг/м²,

при урожайности зелёной массы стандарта
Ростовская 90 – 4,00 кг/м² (табл. 3).

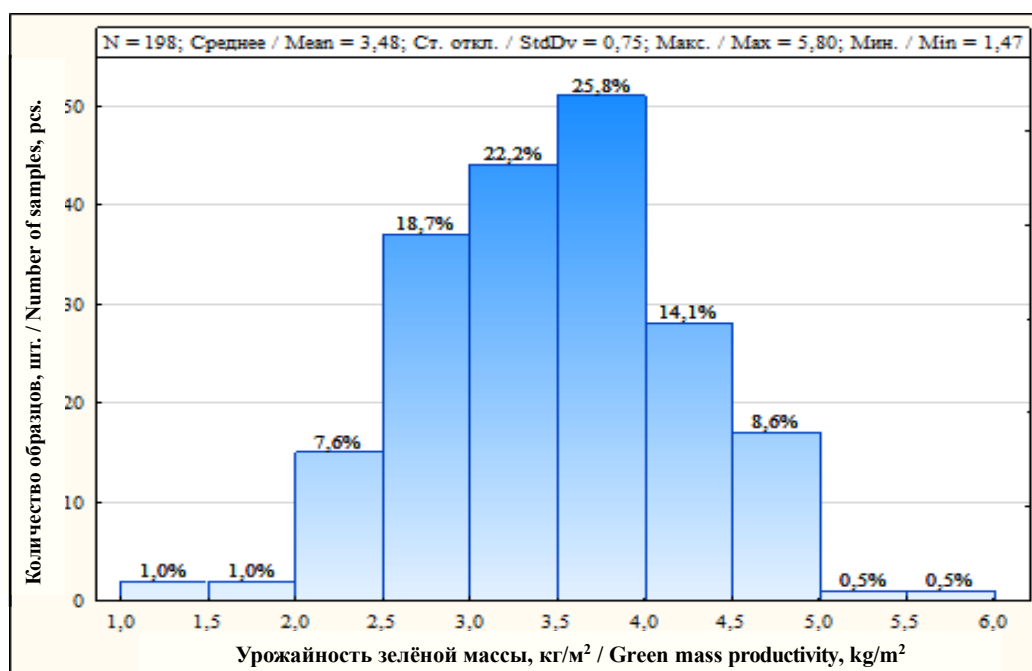


Рис. 3. Распределение образцов люцерны по (2019-2021 гг.) /
Fig. 3. Distribution of alfalfa samples by green mass productivity (2019-2021)

Таблица 3 – Морфо-биологическая характеристика источников высокой урожайности зелёной массы образцов люцерны (2019-2021 гг.) /

Table 3 – Morpho-biological characteristics of sources of high green mass productivity of alfalfa samples (2019-2021)

Образец / Sample	Происхождение / Origin	Вид / Species	Зелёная масса, кг/м ² / Green mass, kg/m ²	Высота растений, см / Plant height, cm	Облиствен- ность, % / Foliage, %	Сухое вещество, % / Dry matter, %	Сырой протеин, % / Crude protein, %
Ростовская 90, ст./ Rostovskaya 90, st.	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center “Donskoy”, Russia	M. varia	4,00	92	40	26,7	18,20
отбор 79 / selection 79			5,80	97	44	27,6	18,02
Уралочка / Uralochka	Уральский НИИСХ, Россия / Ural Scientific Research Institute of Agriculture, Russia		4,97	101	42	26,3	16,86
Г-3 / G-3	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center “Donskoy”, Russia		4,83	101	45	27,2	16,65
Г-5 / G-5			4,85	96	44	26,8	18,51
Донская 5 / Donskaya 5			4,96	101	39	26,1	17,32
Г 97/13 / G 97/13			4,86	92	40	25,5	17,60
Г 8/13 / G 8/13			5,32	93	42	22,4	20,97
Г 73/13 / G 73/13			4,83	98	44	27,6	20,03
HCP ₀₅ / LSD ₀₅			0,75	7	4	1,8	1,29

Образцы Уралочка, Г-3, Донская 5, превысившие стандарт по урожайности зелёной массы, выделились по высоте растений – 101 см, образцы Г 8/13 и Г 73/13 – содержанием сырого протеина свыше 20 % при высокой урожайности зелёной массы.

Биохимические показатели являются важным аспектом качества корма сельскохозяйственных культур. Содержание сухого вещества в коллекционных образцах люцерны варьировало от 20,7 до 31,3 %. У значительной части образцов (81,4 %) содержание сухого вещества отмечено в пределах 25,0-29,0 % (рис. 4).

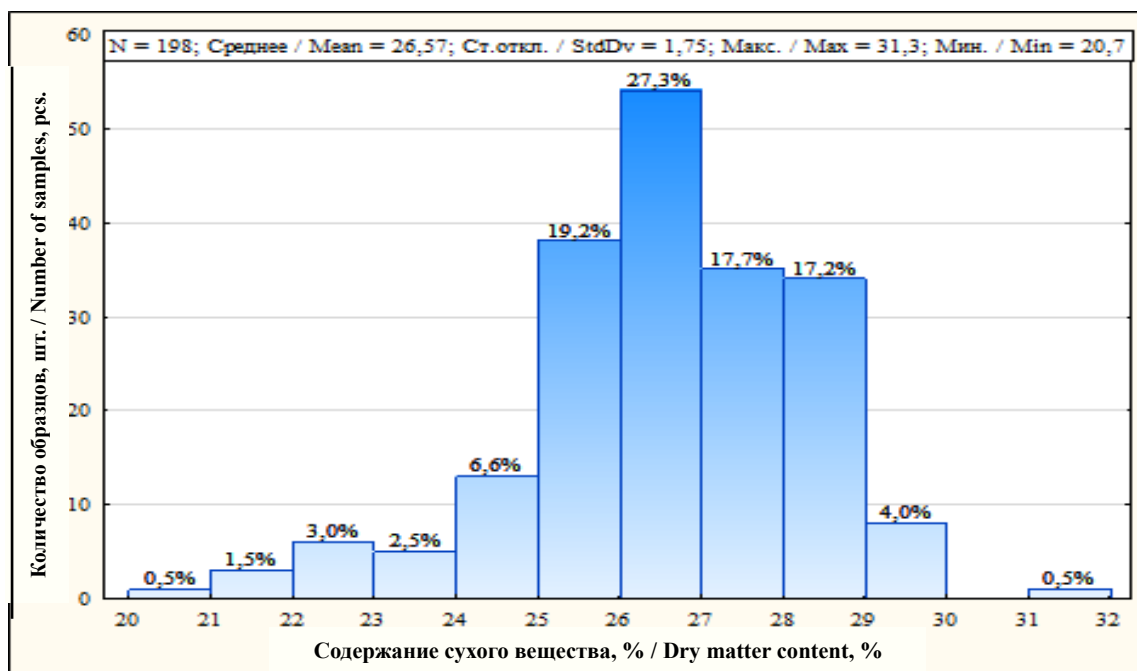


Рис. 4. Распределение образцов люцерны по содержанию сухого вещества (2019-2021 гг.) /
Fig. 4. Distribution of alfalfa samples by dry matter content (2019-2021)

Всего 11 % образцов достоверно превышали стандарт Ростовская 90 (26,7 %) по данному

признаку. Содержание сухого вещества свыше 29 % было зафиксировано у 9 образцов (табл. 4).

Таблица 4 – Морфо-биологическая характеристика источников высокого содержания сухого вещества образцов люцерны (2019-2021 гг.) /

Table 4 – Morpho-biological characteristics of sources of high dry matter content of alfalfa samples (2019-2021)

Образец / Sample	Происхождение / Origin	Вид / Species	Сухое вещество, % / Dry matter, %	Высота растений, см / Plant height, cm	Облиственность, % / Foliage, %	Зелёная масса, кг/м ² / Green mass, kg/m ²	Сырой протеин, % / Crude protein, %
Ростовская 90, ст./ Rostovskaya 90, st.	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center “Donskoy”, Russia	M. varia	26,7	92	40	4,00	18,20
отбор 6 / selection 6			29,1	87	41	2,52	16,33
Saga	Канада / Canada	M. sativa	29,6	100	42	3,60	16,97
Син 1 / Sin 1	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center “Donskoy”, Russia	M. varia	29,1	90	43	4,56	17,73
д. 14813 / d. 14813			29,8	94	38	3,46	17,46
Г-2 / G-2			29,4	75	45	3,59	19,77
Sin 36/95			29,6	85	50	3,91	15,36
отбор 33 / selection 33			29,1	84	41	3,56	18,61
отбор 34 / selection 34			31,3	101	32	2,78	15,02
д. 4576 / d. 4576			29,8	100	43	2,95	17,15
HCP ₀₅ / LSD ₀₅			1,8	7	4	0,75	1,29

Некоторые образцы, выделившиеся по содержанию сухого вещества, превышали стандарт и по другим признакам. Образцы Saga, отбор 34, д. 4576 достоверно превысили стандарт Ростовская 90 по высоте растений (100-101 см), а образец Г-2 достоверно превысил стандарт по содержанию сырого протеина (19,77 %).

Важный показатель качества кормовой массы – содержание сырого протеина в абсолютно сухом веществе. В наших исследованиях у изучаемых образцов он составил в пределах 15,01-21,53 %. Большая часть (79,3 %) образцов были с недостаточно высоким содержанием протеина (16-19 %) (рис. 5).

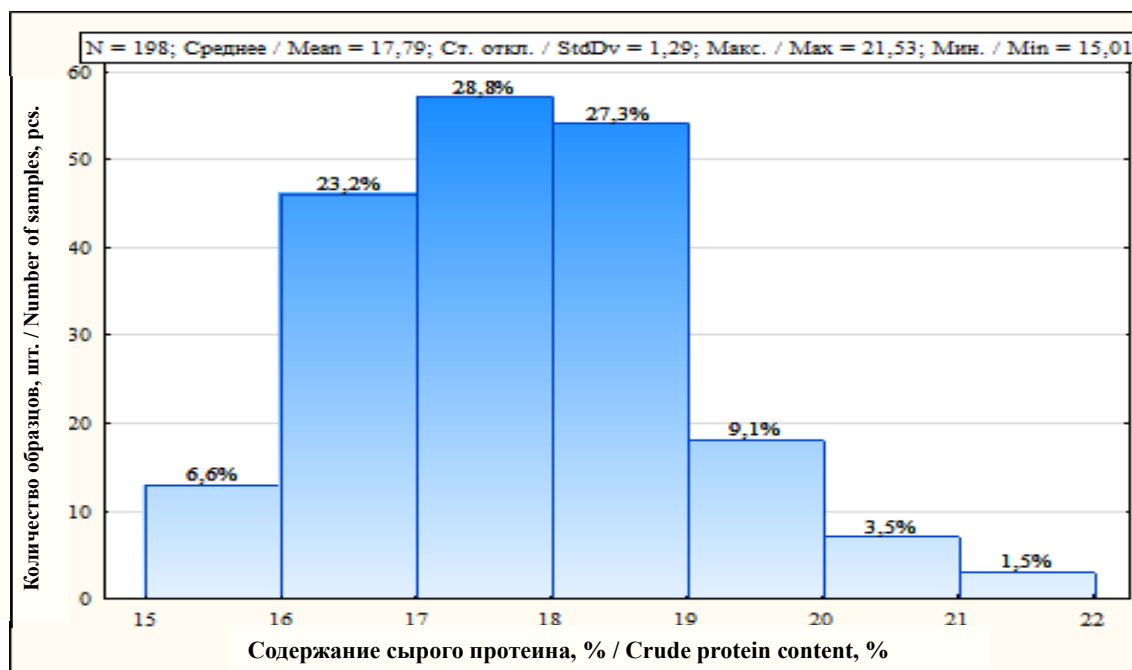


Рис. 5. Распределение образцов люцерны по содержанию сырого протеина (2019-2021 гг.) /
Fig. 5. Distribution of alfalfa samples by crude protein content (2019-2021)

Достоверно превосходили стандарт (18,20 %) 20 изучаемых образцов, наибольшие

показатели были зафиксированы у Сарга, Карлыгаш и Алия (21,13-21,53 %) (табл. 5).

Таблица 5 – Морфо-биологическая характеристика источников высокого содержания сырого протеина образцов люцерны (2019-2021 гг.) /
Table 5 – Morpho-biological characteristics of sources of high crude protein content in alfalfa samples (2019-2021)

Образец / Sample	Происхождение / Origin	Вид / Species	Сырой протеин, % / Crude protein, %	Высота растений, см / Plant height, cm	Облиственность, % / Foliage, %	Зелёная масса, кг/м² / Green mass, kg/m²	Сухое вещество, % / Dry matter, %
Ростовская 90, ст. / Rostovskaya 90, st.	АНЦ «Донской», Россия / Agricultural Research Center “Donskoy”, Russia	M. varia	18,20	92	40	4,00	26,7
Сапра / Sarga	Уральский НИИСХ, Россия / Ural Scientific Research Institute of Agriculture, Russia		21,50	92	50	4,65	22,0
Карлыгаш / Karlygash	Казахстан / Kazakhstan		21,13	85	43	3,89	26,3
Алия / Aliya		M. sativa	21,53	86	44	3,05	23,5
НСР ₀₅ / LSD ₀₅			1,29	7	4	0,75	1,8

Заключение. По результатам проведенных исследований образцов коллекционного питомника люцерны были выделены источники полезных признаков, таких как высота растений 105-107 см (Pickstar, Saranac A.R., Г118/13), облиственность свыше 50 % (Caraveli, Saranac A.R., Сарга, Син 6, Лиска, Г 19/13, Г 144/13), урожайность зелёной массы 4,83-5,79 кг/м² (отбор 79,

Уралочка, Г-3, Г-5, Донская 5, Г 97/13, Г 8/13, Г 73/13), содержание сухого вещества свыше 29 % (отбор 6, Saga, Син 1, д. 14813, Г-2, Sin 36/95, отбор 33, отбор 34, д. 4576) и сырого протеина свыше 21 % (Сарга, Карлыгаш, Алия). Выделившиеся образцы будут использоваться в селекционной работе на кормовую продуктивность в качестве родительских форм.

Список литературы

1. Косолапов В. М., Трофимов И. А., Трофимова Л. С. Кормопроизводство в сельском хозяйстве, экологии и рациональном природопользовании (теория и практика). М., 2014. 135 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21266405>
2. Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография. Кулинцев В. В., Годунова Е. И., Желнакова Л. И. и др. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. 520 с.
3. McDonald I., Baral R., Min D. Effects of alfalfa and alfalfa-grass mixtures with nitrogen fertilization on dry matter yield and forage nutritive value. J. Anim. Sci. Technol. 2021;63(2):305-318. DOI: <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e33>
4. Лобачева Т. И. Состояние и направления развития кормовой базы животноводства. Кормопроизводство. 2017;(8):3-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29822404>
5. Переprawo Н. И., Косолапов В. М., Золотарев В. Н., Шевцов А. В. Современное состояние и основные направления развития травосеяния и семеноводства кормовых трав. Адаптивное кормопроизводство. 2014;(1):12-21.
6. Lu Q., Wang Z., Sa D., Hou M., Ge G., Wang Z. J., Jia Y. The Potential Effects on Microbiota and Silage Fermentation of Alfalfa Under Salt Stress. Frontiers in microbiology. 2021;12:688695. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.688695>
7. Lei Y., Hannoufa A., Yu P. The Use of Gene Modification and Advanced Molecular Structure Analyses towards Improving Alfalfa Forage. International Journal of Molecular Sciences. 2017;18(2):298. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms18020298>
8. Кулинцев В. В., Магомедов К. Г., Ханиева И. М., Улимбашев М. Б. Биология и технология возделывания люцерны. Михайловск: Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, 2018. 145 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35052419>
9. Motsinger L. A., Young A. Y., Feuz R., Larsen R., Brady T. J., Briggs R. K., Bowman B., Pratt C., Thornton K. J. Effects of feeding a novel alfalfa leaf pellet product (ProLEAF MAX) and alfalfa stems (ProFiber Plus) on performance in the feedlot and carcass quality of beef steers. Translational Animal Science. 2021;5(3):txab098. DOI: <https://doi.org/10.1093/tas/txab098>
10. Стародубцева А. М. 25-е Генеральное собрание Европейской федерации лугов: юбилейный конгресс к 50-летию организации. Кормопроизводство. 2014;(10):3-10.
11. Благовещенский Г. В. 18-й Международный симпозиум Европейской федерации луговодов. Кормопроизводство. 2016;(6):9-13.
12. Горлов И. Ф., Шахбазова О. П., Губарев В. В. Оптимизация производства для обеспечения молочно-го скотоводства кормами собственного производства. Кормопроизводство. 2014;(4):3-7.

References

1. Kosolapov V. M., Trofimov I. A., Trofimova L. S. Feed production in agriculture, ecology and rational nature management (theory and practice). Moscow, 2014. 135 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21266405>
2. The system of agriculture of the new generation of the Stavropol Territory: monograph. Kulintsev V. V., Godunova E. I., Zhelnakova L. I. et al. Stavropol: AGRUS Stavropol'skogo gos. agrarnogo un-ta, 2013. 520 p.
3. McDonald I., Baral R., Min D. Effects of alfalfa and alfalfa-grass mixtures with nitrogen fertilization on dry matter yield and forage nutritive value. J. Anim. Sci. Technol. 2021;63(2):305-318. DOI: <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e33>
4. Lobacheva T. I. State and development of forage resources for animal husbandry. Kormoproizvodstvo = Forage Production. 2017;(8):3-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29822404>
5. Pereprawo N. I., Kosolapov V. M., Zolotarev V. N., Shevtsov A. V. The current state and the main directions of development of forage grass seeding and seed multiplication in Russia. Adaptivnoe kormoproizvodstvo = Adaptive fodder production. 2014;(1):12-21. (In Russ.).
6. Lu Q., Wang Z., Sa D., Hou M., Ge G., Wang Z. J., Jia Y. The Potential Effects on Microbiota and Silage Fermentation of Alfalfa Under Salt Stress. Frontiers in microbiology. 2021;12:688695. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.688695>

7. Lei Y., Hannoufa A., Yu P. The Use of Gene Modification and Advanced Molecular Structure Analyses towards Improving Alfalfa Forage. *International Journal of Molecular Sciences*. 2017;18(2):298. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms18020298>
8. Kulintsev V. V., Magomedov K. G., Khanieva I. M., Ulimbashev M. B. Biology and technology of alfalfa cultivation. Mikhaylovsk: *Severo-Kavkazskiy federal'nyy nauchnyy agrarnyy tsentr*, 2018. 145 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35052419>
9. Motsinger L. A., Young A. Y., Feuz R., Larsen R., Brady T. J., Briggs R. K., Bowman B., Pratt C., Thornton K. J. Effects of feeding a novel alfalfa leaf pellet product (ProLEAF MAX) and alfalfa stems (ProFiber Plus) on performance in the feedlot and carcass quality of beef steers. *Translational Animal Science*. 2021;5(3):txab098. DOI: <https://doi.org/10.1093/tas/txab098>
10. Starodubtseva A. M. The 25th general meeting of the European grassland federation: society 50th anniversary congress. *Kormoproduktstvo = Forage Production*. 2014;(10):3-10. (In Russ.).
11. Blagoveshchenskiy G. V. 18th International symposium of grassland farmers of European federation. *Kormoproduktstvo = Forage Production*. 2016;(6):9-13. (In Russ.).
12. Gorlov I. F., Shakhbazova O. P., Gubarev V. V. Optimizing fodder production to provide dairy farming with home-produced feeds. *Kormoproduktstvo = Forage Production*. 2014;(4):3-7. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Регидин Андрей Алексеевич**, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав, ФГБНУ «АНЦ «Донской», Научный городок, д. 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3246-1501>, e-mail: mноголетnie.travy@mail.ru

Игнатьев Станислав Александрович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав, ФГБНУ «АНЦ «Донской», Научный городок, д. 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-2982>

Горюнов Кирилл Николаевич, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав, ФГБНУ «АНЦ «Донской», Научный городок, д. 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5685-6508>

Кравченко Нина Станиславовна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ФГБНУ «АНЦ «Донской», Научный городок, д. 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3388-1548>

Information about the authors

✉ **Andrey A. Regidin**, junior researcher, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Perennial Grasses, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3246-1501>, e-mail: mноголетnie.travy@mail.ru

Stanislav A. Ignatiev, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Perennial Grasses, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-2982>

Kirill N. Goryunov, junior researcher, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Perennial Grasses, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5685-6508>

Nina S. Kravchenko, PhD in Biological Science, researcher, the Laboratory for Biochemical Estimation of Breeding Material and Grain Quality, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3388-1548>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Фитохимическая характеристика и активность лекарственного сырья из листовой части фармакопейного растения левзеи сафлоровидной

© 2022. Н. П. Тимофеев✉

Крестьянское хозяйство БИО (Научно-производственное предприятие),
г. Коряжма, Российская Федерация

В 2016-2020 гг. проведено комплексное исследование проблемы по вовлечению в промышленный оборот экдистеронсодержащей субстанции из листовых частей левзеи сафлоровидной *Rhaponticum carthamoides*, входящей в список растений Государственной фармакопеи, во взаимосвязи с активностью и безопасностью заготавливаемого сырья. Исследовали фитохимические и качественные характеристики лекарственного сырья, полученного по альтернативной технологии (вегетативные побеги вместо корней с корневищами). Культивировали методом органического растениеводства на севере Европейской части России (Архангельская область) с прохладным и влажным климатом, в агропопуляции с плотностью 24-28 тысяч растений на 1 га. Заготовку проводили в начале фазы бутонизации, концентрацию действующего вещества экдистерона определяли фармакопейным методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Установлено, что объектом сбора служили фракции молодых и взрослых розеточных листьев, где накопление больших количеств экдистерона связано с присутствием повышенных количеств белковых веществ ($r^2 = 0,99-0,98$) и существует обратная отрицательная зависимость от клетчатки ($r^2 = -0,99...-0,94$). Индикаторным показателем повышенного синтеза экдистерона является уровень сырого протеина 33-27 %, при котором концентрация экдистерона достигает 4850-3550 мг/кг (0,49-0,36 %) при нормативе 1000 мг/кг (0,1 % в расчете на сухое вещество). Выявлена высокая степень доступности экдистерона из субстанции в водные экстракты, в диапазоне температур от -10 до +100 °C, при последующей сохранности действующих веществ в течение суток на 93-98 %. Суммарный выход экстрактивных веществ составляет 50,2 % (при нормативе 12,0 %). Комплексная биологическая активность экстракта в биотестах характеризовалась стимулирующим действием при высокой степени разведения ($10^{-9}-10^{-11}$ М в расчете на экдистерон) и ингибирующим при малом разведении (1:100). Лекарственное сырье соответствует установленным санитарно-токсикологическим нормативам безопасности по содержанию загрязняющих веществ: в нем не накапливаются тяжелые металлы (Hg, Cd, As, Zn; Ni, Cu, Cr) выше фонового уровня; отсутствуют запрещенные хлор- и фосфорорганические соединения; содержание радионуклидов, нитратов и нитритов ниже норм ПДК.

Ключевые слова: *Rhaponticum carthamoides*, листовые части, экдистерон, биологическая активность, безопасность

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативного проекта.

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Тимофеев Н. П. Фитохимическая характеристика и активность лекарственного сырья из листовой части фармакопейного растения левзеи сафлоровидной. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):480-495. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.480-495>

Поступила: 26.04.2022

Принята к публикации: 30.06.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Phytochemical characteristic and activity of medicinal raw material from the leaves of pharmacopoeial plant *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin

© 2022. Nikolay P. Timofeev✉

Scientific-Production Enterprise Farm "BIO", Koryazhma, Russian Federation

In 2016-2020 there was carried out a comprehensive study of the problem on involvement into the industrial turnover of ecdysterone-containing substance from the leaf parts of *Rhaponticum carthamoides*, which is included in the list of plants of the State Pharmacopoeia, in relation to the activity and safety of harvested raw materials. Studied were phytochemical and qualitative characteristics of medicinal raw materials obtained by alternative technology (vegetative shoots instead of roots with rhizomes). Cultivated by organic cultivation in the European North-East of Russia (Archangelsk region) with a cool and humid climate, in an agropopulation with a density of 24-28 thousand plants per 1 ha. Harvesting was carried out at the beginning of the budding phase, the concentration of the active ecdysterone substance was determined by the pharmacopoeial method of high performance liquid chromatography (HPLC) analysis. It has been established that the objects of collection are the fractions of young and adult rosette leaves, where the accumulation of large amounts of ecdysterone is associated with the presence of increased amounts of protein substances ($r^2 = 0.99-0.98$) and there is an inverse negative dependence on fiber ($r^2 = -0.99...-0.94$). An indicator of increased synthesis of ecdysterone is the level of crude protein of 33-27 %, at which the concentration of ecdysterone reaches 4850-3550 mg/kg (0.49-0.36 %) at a standard of 1000 mg/kg (0.1 % based on dry substance). A high degree of availability of ecdysterone from the substance in aqueous extracts, in the temperature range from -10 to +100 °C, with subsequent preservation of the active substances during the day by 93-98 % was revealed. Total yield of extractive substances is 50.2 % (with the standard value of 12.0 %). Complex biological activity of the extract in biotests was characterized by a stimulating effect at high dilution ($10^{-9}-10^{-11}$ M per ecdysterone) and inhibitory at low dilution (1:100).

Medicinal raw materials meet the established sanitary and toxicological safety standards for the content of pollutants: it does not accumulate heavy metals (Hg, Cd, As, Zn; Ni, Cu, Cr) above the background level; there are no prohibited chlorine and organophosphorus compounds; radionuclide, nitrate and nitrite content is below norms of maximum allowable concentration.

Keywords: *Rhaponticum carthamoides*, leaf parts, ecdysterone, biological activity, safety

Acknowledgement: the work was done without financial support in the framework of the initiative topics.

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated no conflict of interest.

For citations: Timofeev N. P. Phytochemical characteristic and activity of medicinal raw material from the leaves of pharmacopoeial plant *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):480-495. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.480-495>

Received: 26.04.2022

Accepted for publication: 30.06.2022

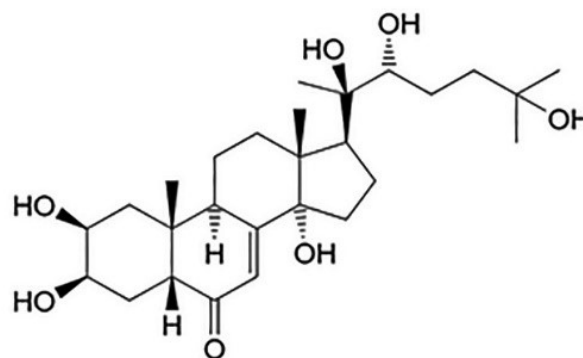
Published online: 25.08.2022

В настоящее время наблюдается большой интерес мировой науки к левзею сафлоровидной *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin – многолетнему растению из семейства сложноцветных (*Asteraceae*) и синтезируемому ею биологически активному веществу экдистерону (синонимы: 20E, 20-гидроксиэкдизон) (рис. 1) [1, 2]. Это единственное экдистеронсодержащее растение-адаптоген, включенное в официальную фармакопею Российской Федерации IX-XIV изданий (с 1961 года) [3], а также Рес-

публики Беларусь [4]. Разрешено использовать как подземные части левзеи с корневищами, так и надземные листовые, и не только в составе фарм- и ветпрепаратов, но и в составе пищевых добавок для человека (Технический регламент¹, 2011; СанПиН 2.3.2.2868-11; прил. 5Б, п.9, п.1], а также как фитобиотическая субстанция в составе кормовых добавок с целью оздоровления сельскохозяйственных животных и значимого повышения их среднесуточного прироста и продуктивности [5].



a / a



b / b

Рис. 1. *R. carthamoides* (Willd.) Iljin с розеточными листьями (a), синтезирующее экдистерон (б) /
Fig. 1. *R. carthamoides* (Willd.) Iljin with rosette leaves (a) synthesizing ecdysterone (b)

Основные фармакотерапевтические и физиологические эффекты комплекса биологически активных веществ (БАВ) из *R. carthamoides* – адаптогенный, анаболический (увеличение прироста мышечной массы), антистрессовый, антикоагулянтный, антиоксидантный, гемореологический, гипогликемический, ноот-

ропный, противомикробный, эргогенный (повышение выносливости и физической работоспособности) и т. д. Нормируемым действующим веществом во всех органах растения является экдистерон – 0,1%, или 1000 мг/кг в расчете на сухое вещество [3, 4].

¹Технический регламент Таможенного союза ТР ТС № 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», в редакции от 14.07.2021. Решение КТС от 09.12.2011. № 880. Астана, 2011.

URL: <https://www.alt.ru/tamdoc/11sr0880/#reglam>

На практике для изготовления препаратов обычно используются подземные части растения, заготавливаемые в природных высокогорных областях Сибири (*экстракт левзеи жидкий* из корней с корневищами, препарат *экдистен* с экдистероном высокой степени очистки из корней) [1]. В разных странах (СССР, Чехия, Узбекистан, Франция, Австрия) реальный выход экдистерона из корней с корневищами *R. carthamoides* незначителен и составляет в среднем около 0,05 % (0,013-0,05-0,101 %) [5]. Кроме того, в процессе хранения и переработки растительного сырья, загрязненного микрофлорой (в частности, из подземных органов *R. carthamoides*), экдистерон может быстро разрушаться [6, 7].

Листовые части *R. carthamoides* на фоне корней являются ежегодно отрастаемым и возобновляемым ресурсом, где экдистерон после биосинтеза в корнях или листьях перераспределяется и концентрируется в молодых и развивающихся органах и тканях (растущие листья, почки возобновления на корневище, семена) [8]. Завершившие вегетацию и зимующие многолетние корни выполняют, прежде всего, якорную функцию в почве, а не развития, поэтому объяснимо низкое содержание экдистерона в заготавливаемых осенью корнях левзеи.

Поэтому перспективно ориентироваться на культивирование и использование *R. carthamoides*, где промышленным источником будет служить ежегодно отрастающая надземная фитомасса с высоким содержанием экдистерона и других сопутствующих биологически активных веществ. К сожалению, общепринятые технологии культивирования *R. carthamoides* в России и за рубежом не связаны с качеством получаемого лекарственного сырья. Ни в одной из ранее опубликованных монографий не исследовано накопление экдистерона в растительной продукции, и тем более в условиях агропопуляций [9, 10, 11]. Неизвестны коррелирующие зависимости, которыми сопровождается процесс биосинтеза и накопления экдистерона (как вторичного метаболита) в уборочных фракциях лекарственного сырья и его связь с основными первичными метаболитами (белковые вещества, клетчатка) и другими БАВ. Также необходимы сведения по доступности экдистерона из лекарственного сырья в водно-спиртовые экстракты и их активности. А само исходное растительное сырье должно соответствовать установленным санитарно-токсикологическим нормативам безопасности – то есть содержание таких загрязняющих веществ, как тяжелые металлы (ртуть – Hg,

свинец – Pb, кадмий – Cd, мышьяк – As, хром – Cr, никель – Ni, олово – Sn, медь – Cu); остатки хлор- и фосфорсодержащих пестицидов (ХОС и ФОС), радионуклидов (радионуклиды цезий-137 стронций-90), нитратов NO_3^- и нитритов NO_2^- не должно превышать нормы их предельно допустимых концентраций (ПДК), не оказывающих негативного влияния на здоровье человека и животных.

Цель исследования – изучить и проанализировать количественные фитохимические и качественные характеристики лекарственного сырья из листовой части левзеи сафлоровидной, культивируемой в условиях агропопуляций Европейского Севера, протестировать биологическую активность и оценить содержание нормируемых веществ безопасности.

В задачи исследования входило:

1. Установить уровни, изменчивость концентрации экдистерона во фракциях лекарственного сырья (молодых, взрослых, стареющих, старых и отмерших) и корреляционную связь их накопления с содержанием основных первичных метаболитов (протеином и клетчаткой).
2. Определить доступность экдистерона из лекарственного сырья в водные и спиртовые экстракты и их устойчивость в среде.
3. Оценить биологическую активность экдистеронсодержащей субстанции промышленного сбора (тестирование иммунно-модулирующей активности *in vitro*).
4. Провести санитарно-токсикологический анализ субстанции на содержание потенциально опасных веществ (тяжелых металлов, радионуклидов, хлор- и фосфорорганических соединений, нитратов, нитритов и т. д.).

Научная новизна. Впервые проведено комплексное исследование проблемы, имеющей важное экономическое значение в масштабах государства – вовлечение в массовый оборот экдистеронсодержащей субстанции из листовых частей левзеи сафлоровидной *Rhaponticum carthamoides*, входящей в список растений Государственной фармакопеи, во взаимосвязи с активностью и безопасностью заготавливаемого сырья.

Это альтернативная, теоретически обоснованная и апробированная на практике многоходовая технология в масштабах агропопуляций – розеточные фракции вегетативных побегов вместо принятой до сих пор одноразовой технологии из выкапываемых подземных частей *R. carthamoides*, при которой плантация перестает существовать, заготовленные корни с корневищами низкого качества, быстро теряют экдистерон в период хранения, а процесс экст-

рации является экономически невыгодным производителю из-за высокой себестоимости.

Результаты могут служить стимулом и источником для инвестиционных вложений со стороны заинтересованных компаний в хозяйствующие субъекты Европейского Севера с целью массового выращивания *R. carthamoides* для нужд фармацевтической и пищевой промышленности, а также для удовлетворения потребностей общественного животноводства в качестве высокоэффективной фитобиотической субстанции (адаптогенной, анаболической, антиоксидантной, антистрессовой, гемореологической, гипогликемической, ноотропной, эргогенной и иммунно-модулирующей направленности).

Материал и методы. В публикации отражены результаты изучения лекарственного сырья из растений генеративного периода (2016-2020 гг.). Исследуемое растительное сырье выращено и заготовлено в сухом виде на юго-востоке Архангельской области, в подзоне средней тайги (Котласский р-н; географические координаты – 61°20' с.ш., 47° в.д.), в агропопуляции *R. carthamoides*, с плотностью 24-28 тысяч экз./га в онтогенезе. Выращивание ведется методом органического растениеводства – минеральные удобрения, химические средства защиты и регуляторы роста растений, гербициды не применяли. По комплексу агрохимических показателей почва участка относится к дерново-подзолистым, высококультурным минеральным (почвенные пробы исследовали общепринятыми методами в ФГУ «Агрохимцентр Кировский», г. Киров). Содержание гумуса в пахотном слое 3,6 %, органического вещества 3,1 %. Кислотность корнеобитаемого слоя почвы оптимальная (рН_{KCl} 6,4-6,5); насыщенность основаниями высокая (12,4 мг-экв, или 93,5 %). По элементам питания обеспеченность фосфором высокая (P₂O₅ подвижный 312 мг/кг почвы), калием – средняя (K₂O подвижный 96 мг/кг).

Особенностями климата являются: короткий безморозный период, значительная облачность и недостаток солнечного света в ультрафиолетовом диапазоне, избыточное увлажнение. Зональный коэффициент увлажнения близок к 1,5. Продолжительность вегетационного периода 165-186 дней, безморозного – 105 дней (77-139). Среднегодовые суммы температур выше 15 °С составляют 911 °С (54-57 дней), 10 °С – 1577 °С (107-110 дней), 5 °С – 1936 °С (153 дня). Средняя температура самого теплого месяца июля +17,4 °С.

Промышленный сбор лекарственного сырья проводили в рекомендованную фазу развития (начало бутонизации), характеризующуюся максимальной концентрацией действующего вещества (экдистерона), которыми являются разновозрастные розеточные листья вегетативных побегов. Изъятие образцов для изучения фракционного состава проводили с использованием метода учетных площадок размерами 60-80 м², закладываемых в 6-9 точках по диагонали поля. В надземной фитомассе выделяли морфологически разнородные органы – укороченные вегетативные (розеточные) и стеблевые генеративные (репродуктивные) побеги с соцветием. В каждой выборке исследовали 275-300 вегетативных побегов, содержащих 1100-1500 розеточных листьев, и 30-35 генеративных побегов.

Среди розеточных листьев различали разновозрастные фракции, исходя из их физиологического возраста и состояния (размеры, опушенность, окраска, цельность листовой пластинки). Выделяли следующие фракции розеточных листьев: 1 – неразвернутые молодые; 2 – полуразвернутые молодые; 3 – растущие взрослые; 4 – развитые взрослые; 5 – стареющие взрослые; 6 – старые; 7 – отмершие. Растительный материал (органы, элементы и фракции) сушили под навесом в тени при переменной температуре от 23-25 до 35-40 °С и относительной влажности воздуха 25-40 %, в соответствии с правилами по заготовке и сушке лекарственного сырья. Остаточная влажность воздушно-сухого сырья, определенная методом ускоренной сушки при 130 °С, составляла 10-12 %. Образцы из воздушно-сухого сырья для дальнейшего определения содержания первичных и вторичных метаболитов формировали методом квартования. До анализа их хранили в полиэтиленовых пакетах при комнатной температуре 3-5 мес.

Количественное содержание экдистерона в сухих образцах определяли методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ-ВЭЖХ), с компьютерной обработкой данных по методу внутреннего стандарта, являющегося официально разрешенным фармакопеей [3, 4]. Анализ проводили по хоздоговорам в биохимической лаборатории Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН (ныне ИБ ФИЦ, г. Сыктывкар). Использовали жидкостный микроколоночный хроматограф «Милихром-5» (колонок 80×2 мм, сорбент Nucleosil C18 с размером частиц 5 мкм) (ООО «Медикант»,

Россия), элюент: раствор ацетонитрила, этанола в воде, подкисленный уксусной кислотой в режиме градиентного элюирования компонентов при скорости 100 мкл/мин, УФ-детектор ($\lambda = 242$ нм). Учитывали средние значения 2 биологических и 3 аналитических повторностей (% от воздушно-сухого вещества).

Химанализы образцов фракций листьев на сырой протеин (СП), сырую клетчатку (СК), потенциально опасных и поэтому нормируемых веществ (тяжелые металлы: Hg, Cd, As, Zn; Ni, Cu, Cr), хлор- и фосфорорганические соединения, радионуклиды ^{90}Sr и ^{137}Cs , нитраты и нитриты) выполнены по хоздоговору общепринятыми методами в аккредитованных лабораториях ФГБУ «Агрохимцентр Кировский» (г. Киров).

Доступность экистерона из лекарственного сырья массового сбора (в водных и спиртовых растворах разных концентраций и их сохранность в среде) исследовали методом ВЭЖХ-анализа из образцов *R. carthamoides* промышленной заготовки (развернутое описание в разделе статьи). Оценка биологической активности из водных экстрактов (тестированием на иммунно-модулирующую активность в культуре клеток) выполнена с использованием скрининговой модели *in vitro*, где применяли последовательные разведения экстракта в кратности от 2 до 9 порядков (от 1:100 до 1:1 000 000 000). При тестировании образцов в клеточной культуре *in vitro* использовали критерий изменения функциональных свойств Т-лимфоцитов и В-лимфоцитов клеток иммунной системы в виде проявления пролиферативного ответа на введение разбавленного водного экстракта (как спонтанного, так и под влиянием соответствующих митогенов ConA (белок конканавалин А: Т-митоген) и липополисахарид LPS: В-митоген). В контроле использовались идентичные по составу экстракты без митогенов. Для оценки пролиферативной активности клеток подсчитывали средние значения по трем повторностям и вычисляли индекс стимуляции по соотношению митоген-индуцированной пролиферации к спонтанной, которая в разведениях оценивалась относительно значений пролиферации к контролю. Работа выполнена в НИИ клинической иммунологии СО РАМН, г. Новосибирск.

Математическую обработку полученных данных проводили стандартными методами вариационной и корреляционной статистики с

помощью модуля Statistica программы Excel 2016. Использовали параметры генеральной (по результатам сплошного учета) и выборочной совокупности. Применяли статистические значения средней со среднеквадратичными отклонениями ($\bar{X} \pm m$), коэффициента вариации (C_v , %), амплитуду минимальных и максимальных значений (Lim , min-max). Уровень изменчивости оценивали по шкале, выраженной коэффициентом вариации для биологических исследований: $\leq 7\%$ – очень низкий, 7-15 % – низкий, 15-25 % – средний, 26-35 % – повышенный, 36-50 % – высокий, $\geq 50\%$ – очень высокий.

Проанализированы корреляционные связи между парными значениями полиномиальных трендов, которые для лучшего визуального восприятия представлены в виде графических данных: парные связи между содержанием экистерона и протеином (20Е-СП), между экистероном и клетчаткой (20Е-СК). На кривых аппроксимации экспериментальных данных приведена соответствующая величина их достоверности в виде коэффициента детерминации или аппроксимации (R^2) – как показателя силы и направления взаимосвязи двух изучаемых количественных переменных при доверительном интервале 95 % (уровне значимости $p = 0,05$).

Результаты и их обсуждение. Лекарственное растительное сырье – это свежие или высушенные растения или их части (в нарезанном, измельченном или порошкообразном виде), используемые для производства лекарств промышленными организациями или аптеками, ветеринарными аптеками или индивидуальными предпринимателями, имеющими разрешение на соответствующую деятельность [1]. Стандартизированное лекарственное растительное сырье, после определения химического состава сертифицированными лабораториями, приобретает статус фармацевтической или фитобиотической субстанции и содержит в качестве БАВ неочищенные комплексы продуктов первичного и вторичного метаболизма. У *R. carthamoides* это экистерон (класс фитоэкистероидов), флавоноиды и их производные, полифенолы (танины), физиологически активные пептидно-белковые вещества с регуляторными функциями (гормональная, ферментативная, рецепторная, сигнальная и т. д.), витамины, провитамины и их производные, макро- и микроэлементы, аминокислоты и т. д. [5].

При этом важно подчеркнуть, что комплексная биологическая активность субстанций из *R. carthamoides* зависит не только от концентрации экдистерона, но и от других сопутствующих веществ, оказывающих синергическое действие на соответствующие мишени органов и тканей. В серии опытов, по оценке эффекта стимуляции синтеза протеина в мышечных тканях, высокой активностью обладала неочищенная фракция водного и спиртового экстракта левзеи сафлоровидной +33 и +29 % к контролю. В случае с очищенным от так называемых «балластных веществ» сухим спиртовым экстрактом левзеи требовалась дозировка в 100-200 раз выше (в расчете на концентрацию экдистерона) для достижения примерно такого же эффекта +23 % [12]. Аналогичное преимущество неочищенных экстрактов левзеи сафлоровидной перед высокоочищенным экдистероном обнаружено и в экспериментах по ингибированию развития онкогенных клеток HeLa (полученных из раковой опухоли шейки матки) [13].

Резюмируя, можно сказать, что критическая разница в сравнительной активности препаратов из *R. carthamoides* возможна обусловлена не только уровнем содержания экдистерона, но и комплексным синергическим взаимодействием их со стрессовыми белками и пептидами, витаминами и фенольными антиоксидантами в растительном сырье.

1. *Фракции листовых органов R. carthamoides и их ценность.* *R. carthamoides* – многолетнее травянистое растение, жизненный цикл которого может длиться до 25-30 лет и далее; взрослые особи образуют куст высотой 90-150 см (иногда 50-250). Вид интродуцирован из субальпийского пояса Алтае-Саянской высокогорной области (до 3000 м над ур. м.); по жизненной форме является крупным травянистым, полурозеточным поликарпическим растением с ежегодно отмирающими побегами двух типов – вегетативных розеточных (84-93-100 % в структуре фитомассы). Цветоносные (генеративные) побеги с мелкими сидячими листьями высотой 110-140 см появляются только в генеративный период, зацветают в середине июня и начинают отмирать примерно через месяц [8].

Розеточные листья вегетативных побегов крупные черешковые, у взрослых растений более или менее глубоко перисто-рассеченные на 15-22 (0-27) доли, по окраске светло-, желто- или темно-зеленые, образуют розетку диаметром 55-90 см (37-112). В молодом возрасте поверхность листьев белесая, паутинисто-

опушенная, придающая им серебристый оттенок. Размеры взрослых листьев достигают 60-90 см (иногда до 120) по длине и 25-33 см по ширине листовой пластинки. Появление новых листьев, их взросление и отмирание не приурочено к определенным фазам развития, они функционируют в течение всего вегетационного периода, меняя друг-друга во времени – с момента схода снежного покрова весной и до наступления устойчивых осенних заморозков.

Основу лекарственного сырья из надземных частей *R. carthamoides* составляет смесь из розеточных листьев, отрастающих сразу же после схода снежного покрова и заготовленных в оптимальную фазу бутонизации (рис. 1), но которые, однако, неоднородны, так как имеют разный физиологический возраст из-за растянутого во времени их появления и развертывания на побеге. Генеративные побеги немногочисленны и не являются объектом сбора на лекарственные цели, так как они одревесневшие и экдистерон в них концентрируется лишь в апикальной части (в цветоносе и семенах).

Содержание во фракциях экдистерона, протеина, клетчатки и корреляционные связи между ними.

Экдистерон. По результатам химического анализа, наиболее высокую ценность по содержанию экдистерона имеют 5-6 первых фракций, занимая 80-90 % по массе в структуре урожая во время фазы бутонизации (табл. 1). Фракции № 1-2 молодых листьев содержат очень большие концентрации экдистерона – 4850-3800 мг/кг (неразвернутые и полуразвернутые по форме листовой пластинки занимают средний внутренний ярус куста). Фракции № 3-5 взрослых листьев также насыщены экдистероном, из них растущие – 3550 мг/кг, развитые – 2950 мг/кг и стареющие – 2140 мг/кг (занимают верхний ярус куста и наиболее развиты по длине и ширине листа).

Старые розеточные листья (фракция № 6) еще удовлетворяют нормативу (1330 мг/кг экдистерона), но их отчуждение нежелательно, так как они являются донорами для фракции растущих молодых (туда перераспределяется экдистерон). Отмершие листья (фракция № 7) расположены в самом нижнем ярусе по периметру куста на высоте 3-10 см от поверхности почвы, образуя ветошь, и загрязнены микрофлорой – они не подлежат уборке для производства лекарственного сырья. Относительная концентрация экдистерона в них всего лишь 7 % от молодых листьев (350 мг/кг).

Таблица 1 – Химический состав фракций розеточных листьев *R. carthamoides* в генеративном периоде (фаза бутонизации) /

Table 1 – Chemical composition of rosette leaf fractions of *R. carthamoides* in the generative period (budding phase)

Фракция розеточных листьев / Fraction rosette leaves	Внешний признак / External sign	Экдистерон, мг/кг / Ecdisterone, mg/kg	Протеин, % / Protein, %	Клетчатка, % / Fiber, %
1. Неразвернутые / Unfolded	Белесо-опушенные / White-powdered	4850	33,4	11,9
2. Полуразвернутые / Semi-expanded	Светло-зеленые / Light green	3800	29,2	16,5
3. Растущие / Growing	Темно-зеленые / Dark green	3550	27,2	17,4
4. Развитые / Developed	Зеленые / Green	2950	24,1	18,8
5. Стареющие / Aging	Желтовато-зеленые / Yellowish green	2140	20,9	20,0
6. Старые / Old	Пожелтевшие / Yellowed	1330	17,5	25,3
7. Отмершие / Dead	Темно-бурые / Dark brown	350	16,6	21,4
Среднее (для 1-5) / Average (for 1-5)	-	3450,0	27,0	16,9
Cv, %	-	29,1	17,7	18,4
Lim (min-max)	-	2140-4850	20,9-33,4	11,9-20,0

Белковые вещества (сырой протеин). Их содержание меняется аналогично концентрации экдистерона, но не так резко; наивысшее во фракциях № 1-2 молодых листьев (33-29 %), затем во фракциях № 3-5 взрослых листьев (растущие 27 %; развитые 24 % и стареющие 21 %). Во фракции № 6 старых листьев протеина около 18 %, № 7 отмерших – 16 % (или 49 % относительно молодых листьев).

Клетчатка. Динамика содержания противоположна динамике экдистерона и протеина – 12-16 % у молодых листьев, 17-20 % у взрослых, 25 % у старых (или 213 % относительно молодых). У отмерших листьев клетчатки 21 %, что меньше во фракции старых (25 %) и объясняется их отмиранием в раннем возрасте (их содержимое вместе с экдистероном перераспределилось в пользу более позднее развивающихся и более крупных розеточных листьев).

Таким образом, наблюдается скоординированное развитие между фракциями розеточных листьев, которое отражается на химическом составе первичных метаболитов: белковых веществ (как основа ферментативных биохимических реакций жизнедеятельности) и клетчатки (как структурного строительного материала) с экдистероном (уже как вторичного продукта метаболических реакций ферментного биосинтеза). Усредненные

концентрации рассматриваемых компонентов по основным 5 уборочным фракциям составляют (для фазы бутонизации): экдистерона – 3450 мг/кг ($C_v = 29,1 \%$); протеина – 27,5 % ($C_v = 17,7 \%$); клетчатки – 16,9 % ($C_v = 18,4 \%$). При анализе и сопоставлении этих данных с другими крайне редкими литературными источниками выявляется аналогичная картина – при низких значениях содержания протеина (14-16 %) в вегетативных побегах содержание экдистерона было крайне низким (0,05-0,14 %) [9, 11].

Корреляция относительного содержания экдистерона с протеином и клетчаткой во фракциях розеточных листьев *R. carthamoides* приведена на графическом рисунке 2, где прослеживается статистически достоверная разнонаправленность кривых аппроксимации экспериментальных данных – между клетчаткой и экдистероном. Взаимно зависимые (парные) связи одной величины от другой в виде коэффициента детерминации представлены на рисунке 3 – откуда следует, что существует прямая и очень высокая зависимость содержания экдистерона от уровня протеина для розеточных листьев ($R^2 = 0,99-0,98$). Зависимость концентрации экдистерона от клетчатки, наоборот, сильная отрицательная ($R^2 = -0,99 \dots -0,94$).

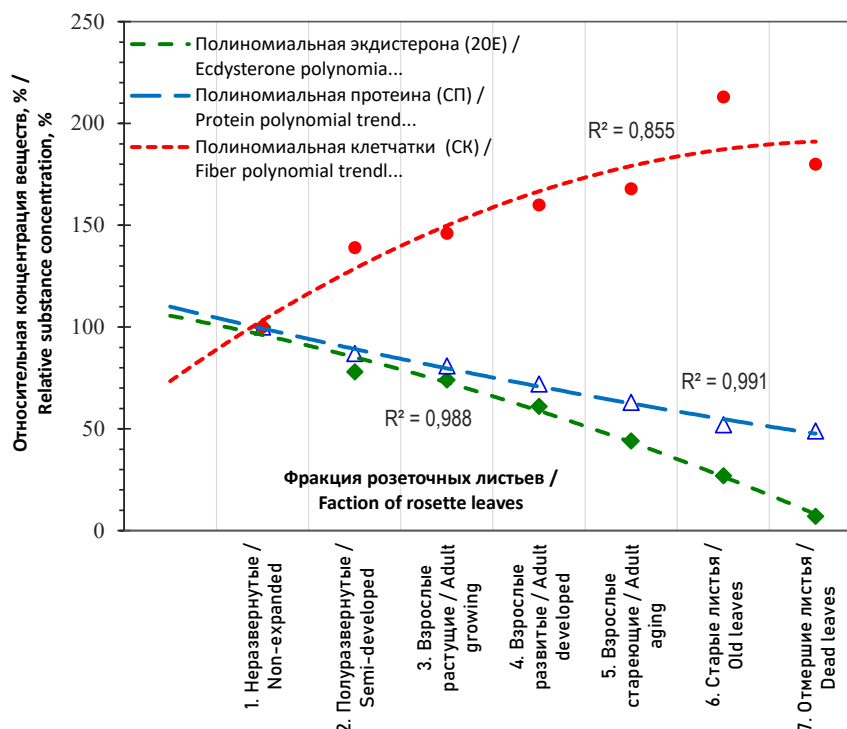


Рис. 2. Корреляция относительного содержания экдистерона на фоне протеина и клетчатки во фракциях розеточных листьев *R. carthamoides*. Пунктирные линии – сглаженные (приближенные) кривые аппроксимации данных, R^2 – соответствующая величина их достоверности /

Fig. 2. Correlation of relative content of ecdysterone against protein and fiber in fractions of rosette leaves of *R. carthamoides*. Dotted lines are smoothed (approximated) curves of data approximation, R^2 is the corresponding value of their reliability

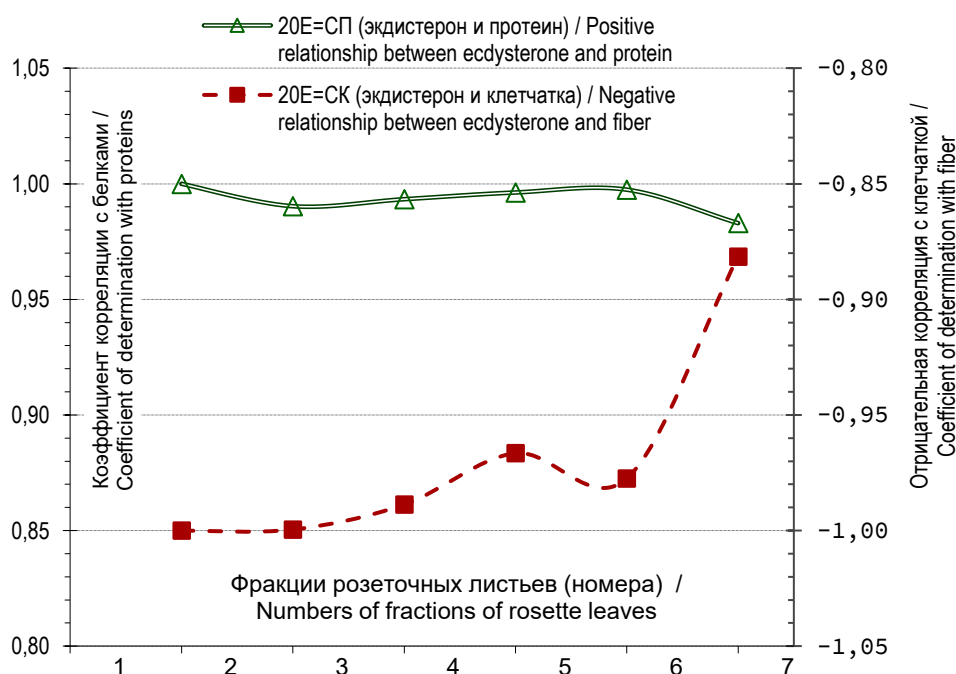


Рис. 3. Парная зависимость содержания экдистерона от протеина и клетчатки во фракциях розеточных листьев *R. carthamoides* (фаза бутонизации) /

Fig. 3. Pairwise dependence of ecdysterone content on protein and fiber in rosette leaf fractions of *R. carthamoides* (budding phase)

2. Доступность экидистерона из листовой части в водные и спиртовые экстракты. Надземные части (листья левзеи) *R. carthamoides* официально разрешены и в сравнении с подземными являются ежегодно возобновляемым ресурсом. Экидистерона в них содержится на порядок больше, а комплексная активность может быть в 4 раза выше подземных частей [14]. Процесс экстракции из подземных органов *R. carthamoides* очень трудоемок, требует больших количеств этилового спирта (3-кратная экстракция 70%-м спиртом с кипячением по 1,5-2,0 часа на каждом этапе, при гидромодуле 10-11:1) [12]; а при водной экстракции без стерилизации, вследствие обильного загрязнения почвенной микрофлорой, экидистерон из мелкоизмельченных корней может разрушиться в течение нескольких часов [6, 7].

Нами изучен сравнительный процесс извлечения экидистерона из листовой части в экстракт дистиллированной водой и спиртом и сохранность в среде, который проводили официальным ФЭЖХ-методом XIV Госфармакопии (г. Сыктывкар, Коми Научный Центр УрО РАН). Варианты извлечения экидистерона: а) 70%-м и 10%-м этиловым спиртом в течение 1 суток; б) дистиллированной водой после 2 часов и 1 суток экспозиции ($T = 20-25^{\circ}\text{C}$); в) после 2-часового воздействия температуры +20, +40, +60, +100 $^{\circ}\text{C}$ в термостате и после-

дующего остывания в течение 17-22 часов; г) замораживание в лабораторной холодильной установке в течение 2 часов, дальнейшая выдержка 22 часа при -10°C , оттаивание).

Результаты. Сумма экстрактивных веществ из листовой части *R. carthamoides* при водной экстракции в сравнении со спиртовой составила в 1,3 раза выше и варьировала в пределах 43-48 % (70%-м этанолом – 34-37 %). В среднем из 8 образцов при водном способе в экстракт перешло 46,1 % сухих веществ. При дополнительной экстракции остатка этиловым спиртом (после водной) получено еще 4,1 %. Суммарный выход экстрактивных веществ в целом в 4 раза выше нормативных – 50,2 % против 12,0 % [3].

Концентрация экидистерона при водной экстракции оказалась в 1,6 раза выше в сравнении 70%-м спиртом: 0,45 и 0,28 % (табл. 2). При снижении концентрации спирта, как растворителя, с 70 до 10 % содержание экидистерона в спиртовом экстракте увеличилось с 0,28 до 0,40 %, но все равно была ниже водной. Дальнейшее испытание различных режимов водной экстракции в течение 1 суток показало, что температура в диапазоне от -10 до $+100^{\circ}\text{C}$ практически не оказывает разрушающего действия на экидистерон; концентрация остается такой же высокой 0,42-0,43 %, как и в контроле – 0,45 % (табл. 3).

Таблица 2 – Эффективность водной и спиртовой экстракции экидистерона из листьев *R. carthamoides* ($T 20-25^{\circ}\text{C}$) /

Table 2 – Efficiency of aqueous and alcoholic extraction of ecdysterone from the *R. carthamoides* leaves ($T 20-25^{\circ}\text{C}$)

Вариант / Variant	Растворитель / Solvent	Выдержка / Exposure	Экидистерон, % / Ecdysterone, %	Эффективность, % / Efficiency, %
Вода / Water	H ₂ O	1 сутки / 1 day	0,45	100,0
Вода / Water	H ₂ O	2 часа / 2 hours	0,34	75,5
Спирт, 10%-й / Ethanol, 10%	C ₂ H ₅ OH	1 сутки / 1 day	0,40	88,9
Спирт, 70%-й / Ethanol, 70%	C ₂ H ₅ OH	1 сутки / 1 day	0,28	62,2

Таблица 3 – Влияние температуры на эффективность водной экстракции экидистерона из листьев *R. carthamoides* /

Table 3. Effect of temperature on the efficiency of aqueous extraction of ecdysterone from the leaves of *R. carthamoides*

Температура, $^{\circ}\text{C}$ / Temperature, $^{\circ}\text{C}$	Растворитель / Solvent	Выдержка, час / Exposure, hour	Экидистерон, % / Ecdysterone, %	Эффективность, % / Efficiency, %
+20	H ₂ O	24	0,45	100,0
+40	H ₂ O	2+17	0,44	97,8
+60	H ₂ O	2+19	0,43	95,6
+100	H ₂ O	2+22	0,42	93,3
-10	H ₂ O	2+22	0,43	95,6

Более высокую степень извлекаемости экидистерона из листовых органов водой, а не спиртом, можно объяснить тем, что в клеточном соке экидистерон присутствует не в чистом виде, а сопровождается конъюгацией его с другими, хорошо растворимыми в воде продуктами вторичного обмена веществ: неорганическими (сульфаты, фосфаты) и органическими (ацетаты, бензоаты, циннаматы) кислотами, сахарами (глюкозиды, галактозиды, ксилозиды) и т. д. После биосинтеза в корнях или листьях они перераспределяются с водным потоком ассимилятов через флоэму от взрослых органов к молодым и развивающимся органам и тканям.

Таким образом, экидистерон в листовых частях левзеи сафлоровидной (*R. carthamoides*), заготовленной в оптимальные сроки, находится в подвижной водорастворимой транспортной форме, не требует обязательной экстракции спиртом (как в случае корней с корневищами) и легкодоступен для организма животных и человека – при высокой сохранности действующих веществ (93–98 %) в водных растворах, в диапазоне температур от -10 до +100 °С. Для сравнения: растворимость 97 % химически изолированного экидистерона в воде составляет 0,19 %, в 70%-ом спирте-этаноле – 6,1 % [15].

Следует также заметить, что кроме плохой растворимости в воде очищенного экидистерона, биодоступность его в организме крайне низка еще и из-за неустойчивости к разложению микрофлорой кишечника – от 0,06–0,10 % до 1,0 %. Поэтому эффективный синтез протеина в мышцах происходит лишь при очень высоких концентрациях (97 %) экидистерона – достигающих до 20–30 мг/кг (1,4–2,0 г в день для человека или около 5×10^{-7} М) [7, 16]. Объясняется данный факт тем обстоятельством, что у поглощенной и биодоступной части экидистерона происходит внутрипеченочный цикл, во время которого экидистерон становится водорастворимым в результате конъюгации с производными глюкозы (процесс глюкуронизации) и его метаболиты попадают в кровь, а затем возвращаются через желчный проток обратно в кишечник [7]. В итоге требуются очень высокие дозировки фармакологически очищенного экидистерона для проявления физиологического эффекта в реальном организме (*in vivo*). В случае же неочищенных препаратов *R. carthamoides* экидистерон в экстракте защищен танинами (полифенольными

дубильными веществами, имеющим антибактериальные свойства), содержание которых в листовых органах доходит до 9–13 %.

3. *Биологическая (иммунно-модулирующая) активность водных экстрактов в биотестах.* Комплексная активность неочищенной экидистеронсодержащей субстанции каждого вида растения будет зависеть от синергического, антагонистического или конкурирующего друг с другом действия отдельных соединений, набор которых индивидуален для конкретного вида-носителя. Нами (в НИИ клинической иммунологии СО РАМН, г. Новосибирск) исследована активность водных экстрактов листовой части левзеи *R. carthamoides* различного разведения (от 1:100 до 1:1 000 000 000, спонтанная без митогена и Т- и В-митогенами) для двух сроков промышленной заготовки (взрослые генеративные растения). Фазы развития растения во время вегетационного периода соответствовали: а) фазе максимального накопления экидистерона в листовых органах (активная вегетация до начала бутонизации); б) фазе оттока экидистерона из розеточных листьев (завершение бутонизации с переходом к цветению). Полученные в скрининговом эксперименте данные приведены в таблице 4.

Выявлено, что особенностью механизма действия водных экстрактов *R. carthamoides* является тормозящее действие больших доз и стимулирующая активность малых дозировок на процессы пролиферации – деления и размножения лимфоцитов на клеточном (Т-лимфоциты) и гуморальном уровнях (антитела, продуцируемые В-лимфоцитами). Для образцов, отобранных во время завершения фазы бутонизации с переходом к цветению, не наблюдается зависимости стимуляции пролиферации Т- и В-клеток в испытуемом диапазоне разведений, а явное ингибирование пролиферации наблюдается только при слабом разведении (10^{-2} или 10^{-4} М по экидистерону).

Наибольшая стимулирующая активность экстрактов *R. carthamoides* совпала с фазой активной вегетации растений, при которой происходит биосинтез и накопление экидистерона в листовых органах. На фоне неспецифически активирующих агентов ConA (Т-митоген) и LPS (В-митоген) пролиферация наиболее ярко стимулируется в диапазоне разведений $10^{-7} \dots 10^{-9}$, что составляет в пересчете на экидистерон $10^{-9} \dots 10^{-11}$ М.

Таблица 4. Влияние водных экстрактов из листьев *R. carthamoides* на пролиферативную активность лимфоцитов, индуцированных клеточным митогеном /

Table 4. Effect of aqueous extracts from the leaves of *R. carthamoides* on the proliferative activity of lymphocytes induced by cellular mitogen

Разведение / Dilution	Спонтанная пролиферация* / Spontaneous proliferation *	Индекс стимуляции / Stimulation indice	
		В-митоген / B-mitrogen	T-митоген / T-mitogen
Фаза активной вегетации / Active vegetation phase			
Контроль / Control	1.00	3.0	4.7
10 ⁻² (1:100)	Нет	Нет	Нет
10 ⁻³ (1:1 000)	0.72	2.6	3.0
10 ⁻⁴ (1:10 000)	0.71	3.6	5.5
10 ⁻⁵ (1:100 000)	0.76	3.2	4.9
10 ⁻⁶ (1:1 000 000)	0.87	3.0	4.2
10 ⁻⁷ (1:10 000 000)	0.66	6.2	6.6
10 ⁻⁸ (1:100 000 000)	0.75	4.2	5.5
10 ⁻⁹ (1:1 000 000 000)	0.62	4.2	6.4
Фаза завершения бутонизации / End of budding phase			
Контроль / Control	1.00	4.2	8.0
10 ⁻²	0.77	1.6	2.5
10 ⁻³	0.65	4.1	5.6
10 ⁻⁴	1.31	3.9	6.0
10 ⁻⁵	1.07	3.9	5.8
10 ⁻⁶	1.31	3.7	5.6
10 ⁻⁷	1.54	4.0	4.2
10 ⁻⁸	1.12	5.1	6.3
10 ⁻⁹	1.38	3.4	4.8

* Относительные значения пролиферации / * Relative values of proliferation

Данная тенденция максимального стимулирования экстракта при концентрации 20Е до 10⁻¹¹ М и ингибирования при повышенной концентрации 20Е до 10⁻⁴ М совпадает с кривой стимулирующей концентрации синтеза протеина в мышцах (без использования митогенов),

найденной европейскими учеными в экспериментах по дозозависимому ингибированию экспрессии гена миостатина в культуре клеток миобласты мыши С2С12 с помощью эктистерона, полученного также из *R. carthamoides* (рис. 4) [17].

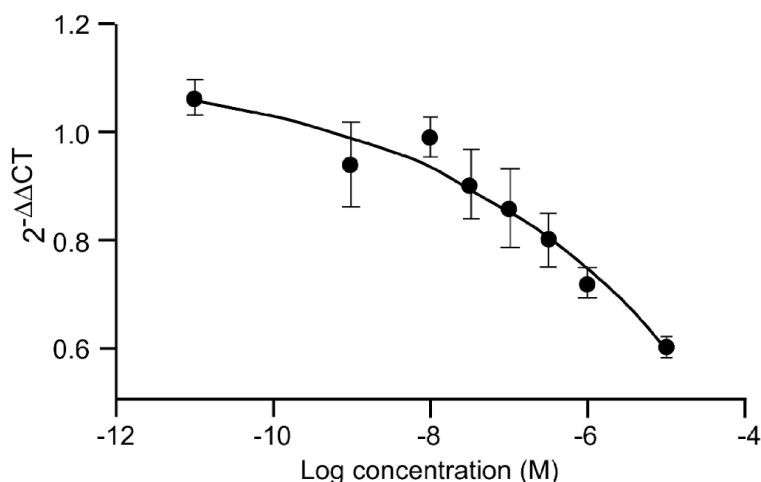


Рис. 4. Экспрессия гена миостатина эктистероном в зависимости от дозы, по [17] /

Fig. 4. Myostatin gene expression by ecdysterone in a dose-dependent manner, by [17]

4. Санитарно-токсикологическая оценка (безопасность). Биологическая ценность лекарственных растений оценивается не только способностью к повышенному синтезу целевых веществ, но и низкой предрасположенностью к концентрированию различных токсических соединений естественного или антропогенного происхождения. Первоначальные сообщения (начало 1970-х годов, выполненных методами цветных реакций) о наличии алкалоидов у *R. carthamoides* при тщательном исследовании не подтверждены. В современной литературе нет также сведений о накоплении тритерпеновых сапонинов, других сильнодействующих, наркотических или ядовитых веществ (буфадииенолидов, сердечных гликозидов, аристолохиевой кислоты, фотосенсибилизирующих, кумулятивных или расщепляющих витамины веществ).

Изучение токсичности надземной части *R. carthamoides* в качестве кормовых добавок ранее уже проводилось в бывшем СССР и за рубежом. В длительных опытах, когда измельченные листовые части растений *R. carthamoides* использовались в рационах, неблагоприятных эффектов не было обнаружено. В экспериментах была доказана их нетоксичность в дозах, достигающих до 0,3-0,5 кг сухого вещества надземной массы для крупного рогатого скота. Крысы и птицы могли питаться семенами данного вида, которые содержали до 1,5 % экидистерона, и хорошо себя чувствовали [5].

Экидистерон, основное действующее вещество в листовых органах *R. carthamoides*, относится к низкотоксичным веществам, не кумулируется и быстро исчезает из организма после приема внутрь. ЛД₅₀ для экидистерона составляет 6,4 г/кг при внутривенном и 9,0 г/кг при пероральном введении. Полупериод его распада в организме невелик; различия связаны с дозами, способами их введения, интенсивностью абсорбции в кровь, видами подопытных животных и т. д. Например, для овец (жвачные) полупериод распада экидистерона при внутривенном введении равен 0,2 ч, пероральном – 0,4 ч и при внутримышечном 2,0 ч. Выделительный путь – через печень и желчь в кишечник (кал) и мочу. У крыс с высокой скоростью обмена веществ при внутривенном введении полувывод был равен 0,13 ч (8 мин). У человека пик экидистерона в плазме крови в разовых дозировках 350-1400 мг наступает через 3 (2-4) часа, после чего содержание его

резко начинает снижаться, и через сутки остаются только следы [7].

В 2020 году очищенный до фармацевтической степени чистоты экидистерон ($\geq 97\%$), полученный из растения левзеи сафлоровидной (*R. carthamoides*), был исследован на грызунах и домашних собаках в Европе на безопасность, включая общую токсикологию и генотоксичность. Дозировки применяли высокие (на уровне до 1000 мг/кг), которые ежедневно повторялись в течение 180 суток для крыс и 270 суток для собак. Препарат при пероральном введении продемонстрировал хороший профиль безопасности, при отсутствии наблюдаемых побочных эффектов. Исследования на генотоксичность *in vitro* и *in vivo* были отрицательными при дозах 1,0-1,5 г/кг для крыс и собак в течение 28 дней. Комплекс тестов Safety Pharmacology (поведение животных, ЦНС, функция дыхания, тест hERG и сердечная телеметрия) не выявили отклонений [18].

Однако при использовании неочищенных экстрактов из разных экидистероидсодержащих растений нужно знать, что только в отношении некоторых из них доказана безопасность, например, *R. carthamoides* и *Serratula coronata* [5]. Большинство же других видов токсичны в различной степени по причине накопления иных химических веществ в органах этих растений.

Согласно Европейскому агентству по безопасности пищевых продуктов [19], среди ботанических видов, которые содержат вещества естественного происхождения, представляющие опасность для здоровья человека, сильноядовитыми среди экидистерон-синтезирующих растений являются: виды морозника (*Helleborus purpurascens*, *H. caucasicus*, *H. niger*), вороньего глаза (*Paris quadrifolia*, *P. polyphylla*, *P. incompleta*), представители рода витекса (*Vitex canescens*, *V. scabra*, *V. cymosa*), тисса (*Taxus baccata*, *T. cuspidata*); а также коккулус сизый (*Diploclisia glaucescens*), луносемянник даурский (*Menispermum dauricum*), выюнок пурпурный (*Ipomoea petaloidea*, *I. hederacea*). Менее токсичны представители папоротникообразных (*Pteridium aquilinum*, *Polypodium vulgare*, *P. lepidopters*), видов смолевки (*Silene*), бразильского женьшеня (*Pfaffia paniculata*, *P. glomerata*, *P. iresinoides*), цианотиса (*Cyanotis arachnoidea*, *C. vaga*). Относительная токсичность у видов соломоцвета (*Achyranthes biden-*

tata, *A. aspera*), представителей лесных грибов – свинушки толстой и калифорнийской (*Paxillus atrotomentosus*, *Tapinella panuoides*) и китайского трутовика (*Polyporus umbellatus*) [5].

В условиях промышленного возделывания при санитарно-токсикологической оценке безопасности продукции приоритетным является соответствие уровня содержания тяжелых металлов, остатков пестицидов и радионук-

лидов нормативным требованиям. Надземные листовые части *R. carthamoides*, выращенные и заготовленные на дерново-подзолистых почвах Европейского Севера в качестве лекарственного сырья, не накапливали элементы первого и второго класса опасности (Hg, Cd, As, Zn; Ni, Cu, Cr) выше фонового уровня (табл. 5) и соответствовали при этом ПДК для зеленой массы многолетних трав².

Таблица 5. Химический состав экдистеронсодержащей субстанции из листьев *R. carthamoides* /
 Table 5. Chemical composition of ecdysterone-containing substance from the leaves of *R. carthamoides*

Показатель / Indicator	Норма / Norm	Фактически / Actually
Действующие вещества ³ , % [3, 4] / Active ingredients, %		
Экдистерон / Ecdysterone	≥ 0,1	0,4-0,6
Экстрактивные вещества / Extractives	≥ 12,0	50,2
Протеин сырой / Protein raw	≥ 16-19	19-27
Клетчатка сырая / Fiber raw	≤ 23-26	16-19
Тяжелые металлы ^{4, 5} , мг/кг / Heavy metals, mg/kg		
Hg (ртуть) / Mercury	0,05	0,009-0,016
Cd (кадмий) / Cadmium	0,3	0,115-0,020
As (мышьяк) / Arsenic	0,5	0,05
Ni (никель) / Nickel	3,0	0,59-1,30
Pb (свинец) / Lead	5,0	0,18-0,30
Cu (медь) / Copper	30,0	7,9
Zn (цинк) / Zinc	50,0	28,4
Хлор- и фосфорорганика ⁶ , мг/кг / Chlorine and phosphororganics, mg/kg		
ДДТ и его метаболиты / DDT and its metabolites	0,05	< 0,007
ГХЦГ и его изомеры / HCH and its isomers	0,05-0,20	< 0,001
Метафос / Metafos	0,00-0,50	Нет / Not
Карбофос / Carbofos	2,0-5,0	Нет / Not
Соединения азота ⁷ , мг/кг / Nitrogen compounds, mg/kg		
NO ₂ ⁻ (нитриты) / Nitrites	10,0	0,3-2,0
NO ₃ ⁻ (нитраты) / Nitrates	2000	700-1200
Радионуклиды ⁸ , мг/кг / Radionuclides, mg/kg		
⁹⁰ Sr (стронций) / Strontium	100,0	5,7
¹³⁷ Cs (цезий) / Cesium	600,0	4,8

²Таланов Г. А., Хмелевский Б. Н. Санитария кормов: справочник. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.

³Петрухин И. В. Корма и кормовые добавки. М.: Агропромиздат, 1989, с. 53.

⁴Таланов Г. А., Хмелевский Б. Н. Указ. соч.

⁵Черников В. А., Алексахин Р. М., Голубев А. В. и др. Агроэкология. Под ред. Черникова В.А. и Чекерса А. И. М.: Колос, 2000. 536 с.

⁶Таланов Г. А., Хмелевский Б. Н. Указ. соч.

⁷Там же.

⁸Черников В. А., Алексахин Р. М., Голубев А. В. Указ. соч.

Запрещенные по санитарно-гигиеническим стандартам хлор- и фосфорорганические соединения в фитомассе отсутствовали. Содержание радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs было ниже ПДК (68,8 и 6,2 против 100 и 600 Бк/кг), уровень нитратов и нитритов (0,3-2,0 мг/кг) находился в пределах норм.

Выводы. 1. Климатические условия Европейского Северо-Востока с прохладным климатом, повышенной влажностью и длинным световым днем благоприятны для промышленного выращивания и получения экистеронсодержащей субстанции *R. carthamoides*, входящей в список Государственной фармакопеи. В качестве источника растительного сырья предпочтительно ориентироваться на заготовку надземной продукции, где объектом сбора служат молодые и взрослые розеточные листья вегетативных побегов. Подземные части нежелательны, так как это ведет к уничтожению популяции, сами корни с корневищами не концентрируют значимых количеств действующих веществ (как правило, менее 0,1 %), такое сырье быстро теряет качество при хранении из-за загрязненности почвенной микрофлорой и требует оперативной и трудоемкой экстракции этиловым спиртом.

2. Установлено, что накопление больших количеств экистерона в надземных частях *R. carthamoides* связано с присутствием повышенных количеств белковых веществ. Наблюдается прямая зависимость содержания экистерона от уровня протеина ($r^2 = 0,99-0,98$) и обратная отрицательная зависимость от клетчатки ($r^2 = -0,99...-0,94$). Индикаторным показателем повышенного синтеза экистерона является уровень сырого протеина 33-27 %, при котором концентрация экистерона достигает 4850-3550 мг/кг (0,49-0,36 %) при нормативе 1000 мг/кг (0,1 % в расчете на сухое вещество).

3. Выявлена высокая степень доступности экистерона из листовых органов *R. carthamoides* в водные экстракты в диапазоне температур от -10 до +100 °С, при последующей сохранности действующих веществ в течение суток на 93-98 %. Экстрагируемость экистерона водой в 1,6 раза выше в сравнении 70%-м этиловым спиртом. Сумма всех экстрактивных веществ из листовой части при водной экстракции составляет 43-48 % от сухой массы (70%-м спиртом – 34-37 %). При дополнительной экстракции остатка этанолом суммарный выход достигает 50,2 %, что в 4 раза выше норматива (12 %). Комплексная биологическая активность экстракта в биотестах с культурой клеток иммунной системы характеризуется ингибиторным характером действия при малом разведении исходной субстанции (1:100), и высоким стимулирующим действием при высокой степени разведения (1:10⁻⁷...1:10⁻⁹ по сухому веществу или 10⁻⁹...10⁻¹¹ М в расчете на экистерон).

4. Лекарственное сырье из листовых органов левзеи сафлоровидной, выращенное по технологии органического растениеводства, соответствует установленным санитарно-токсикологическим нормативам безопасности по содержанию загрязняющих веществ. Надземные части *R. carthamoides* не накапливают элементы первого и второго класса опасности (тяжелые металлы Hg, Cd, As, Zn; Ni, Cu, Cr) выше фонового уровня; запрещенные по санитарно-гигиеническим стандартам хлор- и фосфорорганические соединения в фитомассе отсутствуют, содержание радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs , нитратов и нитритов ниже норм ПДК. Действующее вещество экистерон не аккумулируется в организме человека и животных, не токсичен и безвреден.

Список литературы

1. Shikov A. N., Narkevich I. A., Flisyuk E. V., Luzhanin V. G., Pozharitskaya O. N. Medicinal plants from the 14th edition of the Russian Pharmacopoeia, recent updates. Journal of Ethnopharmacology. 2021;268:113685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113685>
2. Todorova V., Ivanov K., Ivanova S. Comparison between the Biological Active Compounds in Plants with Adaptogenic Properties (*Rhaponticum carthamoides*, *Lepidium meyenii*, *Eleutherococcus senticosus* and *Panax ginseng*). Plants. 2022;11(1):64. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11010064>
3. Фармакопея 2.5.0091.18: Рапонтикума сафлоровидного корневища с корнями (*Rhapontici carthamoides rhizomata cum radicibus*). Госфармакопея РФ, 14 изд. М.: ФЭМБ, 2018. Т. 4. С. 6360-6368.
4. Левзеи сафлоровидной листья: *Rhapontici carthamoides folium* (Leuzea leaf). Государственная Фармакопея РБ. Минск: Минздрав, 2007. Том. 2. С. 368-369.
5. Тимофеев Н. П. Потенциал экистероид синтезирующих растений для фитобиотиков (Обзор). International Agricultural Journal. 2021;64(6):46-112. DOI: <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10384>
6. Пунегов В. В., Мишунов В. П., Никитина Е. Н. Способ получения экистероидов растения рода *Serratula*: α -экидизона, β -экидизона и инокостерона: пат. №2138509 Российская Федерация. №97121539/14: заявл. 22.12.1997; опублик. 27.09.1999. 7 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2138509C1/ru>

7. Dinan L., Dioh W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. *Biomedicines*. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>
8. Тимофеев Н. П., Володин В. В., Фролов Ю. М. Распределение 20-гидроксиэкдизона в структуре биомассы надземной части *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin. Растительные ресурсы. 1998;34(3):63-69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30571373>
9. Постников Б. А. Маралий корень и основы введения его в культуру. Новосибирск: СО РАСХН, 1995. 276 с.
10. Терехин А. А., Вандышев В. В. Технология возделывания лекарственных растений. М.: РУДН, 2008. 201 с.
11. Галамбози Б., Киракосян Г. М., Лужанин В. Г., Флисюк Е. В., Макаров В. Г., Пожарицкая О. Н., Шиков А. Н. Выращивание эфиромасличных и лекарственных растений в условиях Севера: монография. Санкт-Петербург: СпецЛит, 2018. 318 с.
12. Bili A. S., Mejer M., Shevale K., Lorenson L., Foler N., Roller M., Birtik S., Fansa-Berton P. E. R., Falkao L. D. Композиции и способы для улучшенного мышечного метаболизма: пат. №2730853 Российская Федерация. № 2017127509: заявл. 03.02.2016; опубл. 26.08.2020. Бюл. № 24. 98 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43917593>
13. Peschel W., Kump A., Prieto J. M. Effects of 20-hydroxyecdysone, *Leuzea carthamoides* extracts, dexamethasone and their combinations on the NF- κ B activation in HeLa cells. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2011;63(11):1483-1495. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.2011.01349.x>
14. Барнаулов О. Д. Элементы стратегии фитотерапии детей, часто болеющих респираторными вирусными инфекциями. Классические фитоадаптогены: Элементы стратегии фитотерапии. Традиционная медицина. 2015;(3):52-56. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24347207>
15. Маматханов А. У., Шамсутдинов М.-Р., Шакиров Т. Т. Выделение экдистерона из корней *Rhaponticum carthamoides*. *Химия природных соединений*. 1980;(5):528-529.
16. Удинцев А. В., Ихалайнен А. А., Максимов В. А. Сравнительная экспериментальная оценка параметров токсичности и фармакокинетики лекарственных субстанций на основе фитостероида экдистерона. *Российский биомедицинский журнал Medline.ru*. 2014;15:250-262. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23556206>
17. Dilda P., Foucault A. S., Serova M., On S., Raynal S., Veillet S., Dioh W., Lafont R. BIO101, a drug candidate targeting Mas receptor for the treatment of age-related muscle degeneration. From molecular target identification to clinical development. Abstract 4-01. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2016;7(5):655. URL: <https://www.biophytis.com/wp-content/uploads/2019/02/Biophytis-2016-Poster-presentation-at-SCWD-December-10-11-2016-Dilda-et-al.pdf>
18. Lafont R., Dilda P., Dioh W., Dupont P., Signore S. D., Veillet S. 20-hydroxyecdysone extract of pharmaceutical quality, use and preparation thereof. Patent France FR3065644A1 (Biophytis). 2020. URL: <https://patents.google.com/patent/FR3065644A1/en>
19. Compendium of botanicals reported to contain naturally occurring substances of possible concern for human health when used in food and food supplements. *EFSA Journal*. 2012;10(5):2663. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2663>

References

1. Shikov A. N., Narkevich I. A., Flisyuk E. V., Luzhanin V. G., Pozharitskaya O. N. Medicinal plants from the 14th edition of the Russian Pharmacopoeia, recent updates. *Journal of Ethnopharmacology*. 2021;268:113685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113685>
2. Todorova V., Ivanov K., Ivanova S. Comparison between the Biological Active Compounds in Plants with Adaptogenic Properties (*Rhaponticum carthamoides*, *Lepidium meyenii*, *Eleutherococcus senticosus* and *Panax ginseng*). *Plants*. 2022;11(1):64. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11010064>
3. Pharmacopoeia 2.5.0091.18: *Rhaponticum carthamoides* rhizomata cum radicibus. State Pharmacopoeia of the Russian Federation, 14th ed. Moscow: FEMB, 2018. Vol. 4. pp. 6360-6368.
4. *Rhaponticum carthamoides* folium (*Leuzea* leaf). State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus. Minsk: Ministry of Public Health, 2007. Vol. 2. pp. 368-369.
5. Timofeev N. P. Potentiality of ecdysteroid synthesizing plants for feed additives (review). *International Agricultural Journal*. 2021;64(6):46-112. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10384>
6. Punegov V. V., Mishurov V. P., Nikitina E. N. Method of preparing ecdysteroids of plant *Serratula*: α -ecdysone, β -ecdysone and inocosterone: Patent RF, no. 2138509, 1999. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2138509C1/ru>
7. Dinan L., Dioh W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. *Biomedicines*. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>

8. Timofeev N. P., Volodin V. V., Frolov Yu. M. Distribution of 20-hydroxyecdysone in the structures of the above-ground biomass of *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin. *Rastitel'nye resursy* = Rastitelnye Resursy. 1998;34(3):63-69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30571373>
9. Postnikov B. A. Maral root (*Rhaponticum carthamoides*) and the bases of its introduction into culture. Novosibirsk: *SO RASKhN*, 1995. 276 p.
10. Terekhin A. A., Vandyshchev V. V. Technology of cultivation of medicinal plants. Moscow: *RUDN*, 2008. 201 p.
11. Galambozi B., Kirakosyan G. M., Luzhanin V. G., Flisyuk E. V., Makarov V. G., Pozharitskaya O. N., Shikov A. N. Growing essential and medicinal plants in the North: monograph. Sankt-Peterburg: *SpetsLit*, 2018. 318 p.
12. Bili A. S., Mejer M., Shevale K., Lorensen L., Foler N., Roller M., Birtik S., Fansa-Berton P. E. R., Falkao L. D. Compositions and methods for improved muscular metabolism: Patent no. 2730853 RF. 2020. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43917593>
13. Peschel W., Kump A., Prieto J. M. Effects of 20-hydroxyecdysone, *Leuzea carthamoides* extracts, dexamethasone and their combinations on the NF- κ B activation in HeLa cells. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2011;63(11):1483-1495. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.2011.01349.x>
14. Barnaulov O. D. The strategy elements of phytotherapy for children with frequent respiratory viral infections. classical phytoadaptogenes. *Traditsionnaya meditsina*. 2015;(3):52-56. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24347207>
15. Mamatkhanov A. U., Shamsutdinov M.-R., Shakirov T. T. Isolation of ecdysterone from the roots of *Rhaponticum carthamoides*. *Khimiya prirodnikh soedineniy* = Chemistry of Natural Compounds. 1980;(5):528-529. (In Uzbekistan).
16. Udintsev A. V., Ikhalaynen A. A., Maksimov V. A. The comparative experimental access of toxicity and pharmacokinetic parameters of pharmacological substances based on phytosteroid ecdysterone. *Rossiyskiy biomedicalnyi zhurnal Medline.ru*. 2014;15:250-262. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23556206>
17. Dilda P., Foucault A. S., Serova M., On S., Raynal S., Veillet S., Dioh W., Lafont R. BIO101, a drug candidate targeting Mas receptor for the treatment of age-related muscle degeneration. From molecular target identification to clinical development. Abstract 4-01. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2016;7(5):655. URL: <https://www.biophytis.com/wp-content/uploads/2019/02/Biophytis-2016-Poster-presentation-at-SCWD-December-10-11-2016-Dilda-et-al.pdf>
18. Lafont R., Dilda P., Dioh W., Dupont P., Signore S. D., Veillet S. 20-hydroxyecdysone extract of pharmaceutical quality, use and preparation thereof. Patent France FR3065644A1 (Biophytis). 2020. URL: <https://patents.google.com/patent/FR3065644A1/en>
19. Compendium of botanicals reported to contain naturally occurring substances of possible concern for human health when used in food and food supplements. *EFSA Journal*. 2012;10(5):2663. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2663>

Сведения об авторе

✉ **Тимофеев Николай Петрович**, кандидат биол. наук, заведующий лабораторией интродукции и биосинтеза экдистероидов, Крестьянское хозяйство БИО (Научно-производственное предприятие), Ленина пр-кт, д. 47а, г. Коряжма, Российская Федерация, 165650, e-mail: sciens@leuzea.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4565-7260>

Information about the author

✉ **Nikolay Timofeev**, PhD in Biology, Head of the Laboratory of Introduction and Biosynthesis of Ecdysteroids, Scientific-Production Enterprise Farm "BIO", Lenin Avenue, 47a, Koryazhma, Russian Federation, 165650, e-mail: sciens@leuzea.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4565-7260>

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ / FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.496-506>
УДК 636.2:636.084.413:636.085



Влияние разных доз экструдата ржи на переваримость рациона и биохимические показатели рубцовой жидкости и крови у ремонтных тёлочек

© 2022. Н. А. Морозков✉, Е. В. Суханова, Л. С. Терентьева

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

В статье представлены результаты влияния скармливания разных доз экструдата зерна озимой ржи на переваримость кормов рациона и биохимический состав рубцовой жидкости и крови ремонтных тёлочек. Исследования проводили на молочном комплексе ООО «Соколово» (Пермский край). Объектом исследования были ремонтные тёлки голштинизированной черно-пёстрой породы в возрасте 12-15-ти месяцев. У тёлочек опытных групп концентратная часть рациона по сухому веществу состояла из экструдата зерна озимой ржи: в первой группе на 12,5 %, во второй – на 25,0 %, в третьей – на 50,0 %. В результате исследований было выявлено, что ремонтные тёлки первой, второй и третьей опытных групп показали большие результаты по сравнению с тёлочками контрольной группы по переваримости сухого вещества рациона на 0,63 %, 0,99 и 1,77 % ($p < 0,01$) соответственно. Содержание аммиака в рубцовой жидкости первой опытной группы тёлочек через три часа после кормления на 0,62 мг% (на 2,97 %) $p < 0,05$, во второй опытной группы на 1,22 мг% (4,77 %) $p < 0,05$, в третьей – на 1,70 мг% (9,42 %) $p < 0,01$ было меньше по сравнению с контрольной. Уровень содержания мочевины в крови у тёлочек опытных групп был ниже, по сравнению с контролем, в первой – на 0,34 ммоль/л (на 6,65 %), во второй – на 0,46 ммоль/л (9,21 %) и в третьей – на 0,58 ммоль/л (14,90 %) $p < 0,05$.

Ключевые слова: целлюлозолитические бактерии, рубец, аммиак, крахмал, мочевина, глюкоза, сахаро-протеиновое отношение

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № АААА-А19-119032190060-4).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Морозков Н. А., Суханова Е. В., Терентьева Л. С. Применение зерна озимой ржи экструзионной переработки в рационах ремонтных тёлочек. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):496-506. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.496-506>

Поступила: 13.05.2022

Принята к публикации: 27.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

The effect of different doses of rye extrudate on the digestibility of the diet feeds and biochemical parameters of rumen fluid and blood in replacement heifers

© 2022. Nikolay A. Morozkov✉, Elena V. Sukhanova, Ludmila S. Terentyeva

Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation

The article presents the results of identifying the effect of feeding different doses of winter rye grain extrudate on the digestibility of diet feeds and the biochemical composition of rumen fluid and blood of replacement heifers. The research was carried out at the Sokolovo dairy complex (Perm Krai). The objects of the study were replacement heifers of Holstein black-and-white breed aged 12-15 months. The concentrate part in the diet of heifers of the experimental groups consisted from winter rye grain extrudate: in the first group by 12.5 %, in the second – by 25.0 %, in the third – by 50.0 %. As the result of the research, it was revealed that the replacement heifers of the first, second and third experimental groups showed great results compared to the heifers of the control group in the digestibility of the dry matter of the diet feed by 0.63 %, 0.99 and 1.77 % ($p < 0.01$), respectively. The ammonia content was in the rumen fluid of the first experimental group of heifers three hours after feeding by 0.62 mg% (2.97 %) $p < 0.05$, in the second experimental group by 1.22 mg% (4.77 %) $p < 0.05$, in the third –

by 1.70 mg% (9.42 %) $p < 0.01$ less, compared to the control. The level of urea in the blood of heifers of the experimental groups was lower, compared with the control, in the first – by 0.34 mmol/l (by 6.65 %), in the second by 0.46 mmol/l (9.21 %) and in the third – by 0.58 mmol/l (14.90 %) $p < 0.05$.

Keywords: cellulolytic bacteria, rumen, ammonia, starch, urea, glucose, sugar-protein ratio

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. AAAA-A19-119032190060-4).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: authors declared no conflict of interest.

For citation: Morozkov N. A., Sukhanova E. V., Terentyeva L. S. The effect of different doses of rye extrudate on the digestibility of the diet feeds and biochemical parameters of rumen fluid and blood in replacement heifers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(4):496-506. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.496-506>

Received: 13.05.2022

Accepted for publication: 27.07.2022

Published online: 25.08.2022

Состояние здоровья животных, объём и качество производимой продукции в большей степени зависят от полноценности кормления и уровня восполнения норм потребности животных в необходимых питательных веществах и при соблюдении их соотношений¹. Важное значение в кормлении жвачных животных принадлежит легкоусвояемым углеводам (сахарам). Они являются питательной средой для микроорганизмов, населяющих преджелудки животных и используются ими при синтезе бактериального белка [1].

В соответствии с зоотехническими нормами потребности при выращивании ремонтных тёлочек концентрация сахара в сухом веществе рациона в среднем должна составлять: в возрасте 3 месяцев – 15-16 %; 6 месяцев – 8,0-9,5 %; 7-12 месяцев – 6,5-9,0 %; 13-18 месяцев – 6,5-8,5 %². Из анализа фактических рационов кормления молодняка крупного рогатого скота (КРС) 12-15-месячного возраста в хозяйствах Пермского края дефицит легкоусвояемых сахаров составляет 41,5-71,3 %, при этом сахаро-протеиновое отношение не выходит за рамки 0,29-0,34:1 при норме 0,85:1. Как утверждает автор [2], это расстраивает работу микробиоты рубца и уменьшает переваримость и усвоение питательных веществ рациона, что не только противоречит достижению наследственно полученного уровня продуктивности, но и негативно отражается на общем состоянии организма животного.

Рационы скота и птицы, обогащённые ценным ржаным кормом, обеспечивают качественную продукцию животноводства, которая поступает в организм человека согласно естественной цепи «корма – сельскохозяйственные

животные – мясомолочная продукция – человек» и способствует поддержанию здоровья [3].

Желание производить зерно ржи для кормовых целей постоянно привлекало аграриев, потому что биологическая ценность белка ржи превосходит все зерновые культуры, кроме овса. Белок ржи на 83 % идентичен молочному казеину, в то время как у пшеницы только на 41 %. В составе белка ржи содержится 3...4 % лизина и более, он сбалансирован по всем незаменимым аминокислотам [4]. По содержанию безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) отмечается, что максимальный уровень БЭВ в зерне ржи – 672 г/кг зерна, в пшенице – 642, ячмене 638, овсе – 573 г/кг зерна [5]. Наличие витамина Е в ржаном зерне в 1,5-2 раза больше по сравнению с пшеничным. Важнейшая функция данного витамина состоит в сохранении плода, вынашивании и нормальном появлении на свет потомства, нормализации работы мышц. Ржаное зерно является источником повышенного количества йода и железа [6].

Включение зерна озимой ржи традиционных сортов в рационы скота ограничено присутствием в нем значительного числа водорастворимых пентозанов, таких как арабиноза и ксилоза (арабиноксиланы), которые входят в химический состав некрахмалистых полисахаридов [7]. Их общий уровень в зерне ржи варьирует от 7,0 до 13,0 %, тогда как в пшенице – от 5 до 7 % [8]. Учитывая это, нужно иметь в виду, что в желудочно-кишечном тракте крупного рогатого скота большая часть некрахмалистых полисахаридов, танинов и пектинов разрушаются при воздействии на них микробиоты рубца, преобразуются и всасываются в кишечнике [9].

¹Управление Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору по Республике Мордовия и Пензенской области. Официальный сайт. ГМО в кормах. [Электронный ресурс].

URL: <http://ursn-rm.ru/news/allnews/10678.html> (дата обращения: 11.04.2022).

²Хохрин С. Н., Рожков К. А., Лунегова И. В. Кормление животных с основами кормопроизводства. Санкт-Петербург: Проспект науки, 2016. 480 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25882654>

Среди зерновых культур более всего подвержена поражению спорыньей (*Claviceps purpurea* Fr. Tul.) рожь. Загрязнение зернового корма алкалоидами спорыньи приводит к снижению поедаемости кормов рациона и вызывает аборт у животных. При внедрении менее поражаемых сортов и соблюдении технологии возделывания существует реальная возможность получения зерна ржи хорошего качества³.

Высокое содержание антипитательных веществ в составе зерна озимой ржи препятствует использованию данного зернового сырья в кормлении сельскохозяйственных животных. Поэтому зерно озимой ржи перед скармливанием необходимо подвергать обработке. Существуют способы подготовки зерновых кормов к скармливанию: механические, тепловые, биологические, химические, влаготепловые. К влаготепловой обработке относится экструзия – обработка зерна под действием высокого давления и температуры [10].

В процессе экструзионной обработки зернового материала изменяется его химический состав (декстринизация крахмала и частично сырой неструктурной клетчатки – до глюкозы, увеличение содержания легкоусвояемых углеводов, с сохранением энергетической питательности перерабатываемого корма, водорастворимых витаминов и биологически активных веществ). При скармливании экструдированных зерновых кормов сельскохозяйственным животным наблюдается увеличение переваримости и усвояемости питательных веществ всего рациона, повышается стойкость при хранении в результате разрушения жирорасщепляющих ферментов, корм получается обезвреженным от патогенной микрофлоры, получается продукт с высокими вкусовыми качествами. Экструзия позволяет шире использовать в животноводстве механизацию и автоматизацию процессов переработки зерновых кормов [11, 12, 13, 14, 15].

Использование животными питательных веществ экструдата зерновых продуктов возрастает до 90 %, или на 25-30 % в сравнении с зерном в размолотом виде. При экструзионной переработке зерна озимой ржи в значительной степени распадаются в своей структуре антипитательные вещества, такие как уреазы, ингибиторы протеаз, трипсина. Уровень растворимых веществ в составе экструдата зерна увеличивается в 5-8 раз по сравнению с исходным зерновым сырьём [16, 17].

Кроме обеззараживания сырья, экструзирование позволяет: снизить скорость расщепляемости белка в рубце; повысить синтез микробиального белка; повысить использование зернового крахмала животными за счет его декстринизации до глюкозы в процессе экструзии; понизить объём ферментации крахмала в рубце; увеличить энергетическую питательность рациона на 10-15 % [18, 19, 20, 21].

При силосно-концентратном типе кормления даже использование сенажа, заготовленного по современной технологии, как источника легкоусвояемых сахаров, не может в полной мере устранить дефицит сахаров в рационах молодняка КРС. Это послужило мотивом для разработки рационов кормления тёлочек 12-15-месячного возраста с использованием в них зерна озимой ржи экструзионной переработки, которая бы способствовала увеличению обеспеченности тёлочек недостающим количеством сахаров.

Цель исследования – изучить влияние скармливания разных доз экструдата зерна озимой ржи в составе концентратной части рациона ремонтных тёлочек на переваримость основных питательных веществ кормов и биохимический состав рубцовой жидкости и крови.

Задачи исследований:

- изучить химический состав экструдата зерна озимой ржи и других кормов, входящих в состав рациона ремонтных тёлочек;
- определить переваримость питательных веществ кормов рациона;
- с интервалом 10 дней трижды в ходе опыта произвести забор и проанализировать биохимический состав рубцовой жидкости;
- проанализировать биохимический состав крови ремонтных тёлочек в начале и конце опыта.

Научная новизна работы заключалась в обосновании беспрепятственного использования зерна озимой ржи после экструзионной переработки в рационах молодняка крупного рогатого скота. Установлено, что повышение сахаропротеинового отношения в рационе ремонтных тёлочек с 0,29-0,34:1 до 0,57-0,63:1 (норма 0,85:1) способствовало улучшению показателей микробиома рубца.

Материал и методы. Объект исследования – ремонтные тёлочки голштинизированной черно-пёстрой породы в возрасте 12 месяцев. Опыты проводили в 2021 году на молочном комплексе ООО «Соколово» Вережгинского

³Пономарев С. Н. Основы адаптивной селекции озимой ржи на продуктивность и качество в среднем Поволжье: дис.... д-ра с.-х. наук. М., 2014. 418 с.

района Пермского края по методике В. М. Кузнецова [22]. Методом пар-аналогов были сформированы четыре группы ремонтных тёлочек по 11 голов в каждой с учётом живой массы, возраста и линейной принадлежности. Содержание привязное.

Переваримость питательных веществ проводили по методике определения переваримости кормов и рационов М. Ф. Томмэ⁴.

Анализ морфо-биохимических показателей крови у тёлочек (по три головы из каждой группы) в начале и конце опыта проводили согласно общепринятым в ветеринарии методикам⁵.

Основной рацион (ОР) включал – сено злаково-бобовое (ежа сборная+клевер луговой), сенаж бобовый (козлятник восточный), концентраты (50/50 % типовой комбикорм КР-3 ГОСТ 9268-90 / ячмень плющенный). Животные контрольной группы получали ОР, первой опытной – концентратная часть ОР по СВ представлена на 50 % из типового комбикорма, на 37,5 % из ячменя плющенного и на 12,5 % из экструдата зерна озимой ржи; второй опытной – 50 % / 25 % / 25 % соответственно; третьей опытной – концентратная часть ОР по СВ представлена на 50 % из типового комбикорма и на 50 % из экструдата зерна озимой ржи. При замене доли концентратной части рациона на экструдат зерна озимой ржи животные были обеспечены витаминно-минеральным комплексом в соответствии с научно обоснованными нормами кормления.

Экструдат зерна озимой ржи произведён на одношнековой установке, предназначенной для экструзионной переработки зерновых культур. Установка разработана институтом

механики сплошных сред ПФИЦ УрО РАН и изготовлена в НПО «Искра» г. Пермь. Отработана экструзионная технология переработки зерна на примере увлажненной крошки озимой ржи для получения продукта с необходимым качеством. В аналитической лаборатории Пермского НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН проведен анализ химического состава всех кормов, входящих в рацион опытных и контрольных ремонтных тёлочек, по общепринятым методикам зоотехнического анализа кормов⁶ и биохимических исследований согласно требованиям ГОСТа (лаборатория проводит исследования по качеству сырья и готовых кормов на основании заключения № 07-10/18-18, выданного ФБУ «Пермский ЦСМ»).

Рубцовую жидкость отбирали зондом у трёх животных из каждой экспериментальной группы по общепринятой в ветеринарии методике, согласно которой в ней определяли рН – иономером ЭЭВ-74, концентрацию аммиака – диффузным методом Конвея, целлюлозолитическую активность⁷.

Экспериментальные данные опытов обработали методом биометрической статистики с использованием прикладной программы Microsoft Excel 2003, разницу по отношению к контрольной группе считали достоверной при $p < 0,05$, $p < 0,01$ и $p < 0,001$.

Результаты и их обсуждение. Для выполнения поставленных задач исследований был приготовлен экструдат зерна озимой ржи с последующим скармливанием его экспериментальным животным в ходе научно-хозяйственного опыта (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав зерна озимой ржи до и после экструзии, а.с.в. /

Table 1 – The chemical composition of winter rye grain before and after extrusion, a.d.v.

Вид корма / Fodder type	Сухое в-во, % / Dry matter, %	Сырой жир, % / Raw fat, %	Сырой протеин, % / Raw protein, %	Сырая клетчатка, % / Raw fiber, %	Сахар, % / Sugar, %	Кальций, г/кг / Calcium, g/kg	Фосфор, г /кг / Phosphorus, g/kg	Обменная энергия, МДж/кг / Exchange energy, MJ/kg
Зерно / Grain	88,76	1,85	14,73	7,18	5,05	0,24	0,96	12,34
Экструдат / Extrudate	88,19	0,93	14,67	6,93	12,44	0,19	0,66	12,34

⁴Томмэ М. Ф. Методика определения переваримости кормов и рационов. М.: ВИЖ, 1969. 37 с.

⁵Кондрахин И. П., Архипов А. В., Левченко В. И., Таланов Г. А., Фролова Л. А., Новиков В. Э. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник. М.: КолосС, 2004. 520 с.

⁶Методы зоотехнического анализа кормов. Топорова Л. В., Архипов А. В. и [др.]. М.: МГАВМиБ им. К. И. Скрябина, 2013. 49 с.

⁷Изучение пищеварения у жвачных: методические указания. Н. В. Курилов [и др.]; Всерос. науч.-исслед. ин-т физиологии и биохимии питания с.-х. животных. Боровск, 1987. 96 с.

Содержание сахара в экструдате по сравнению с зерном увеличилось в 2,46 раза и составило в расчете на 1 кг абсолютно сухого вещества 12,44 %.

Результаты исследования свидетельствуют, что использование в кормлении

молодняка крупного рогатого скота в составе концентратной части рациона экструдата зерна озимой ржи способствовало улучшению переваримости питательных веществ рационов (рис. 1).

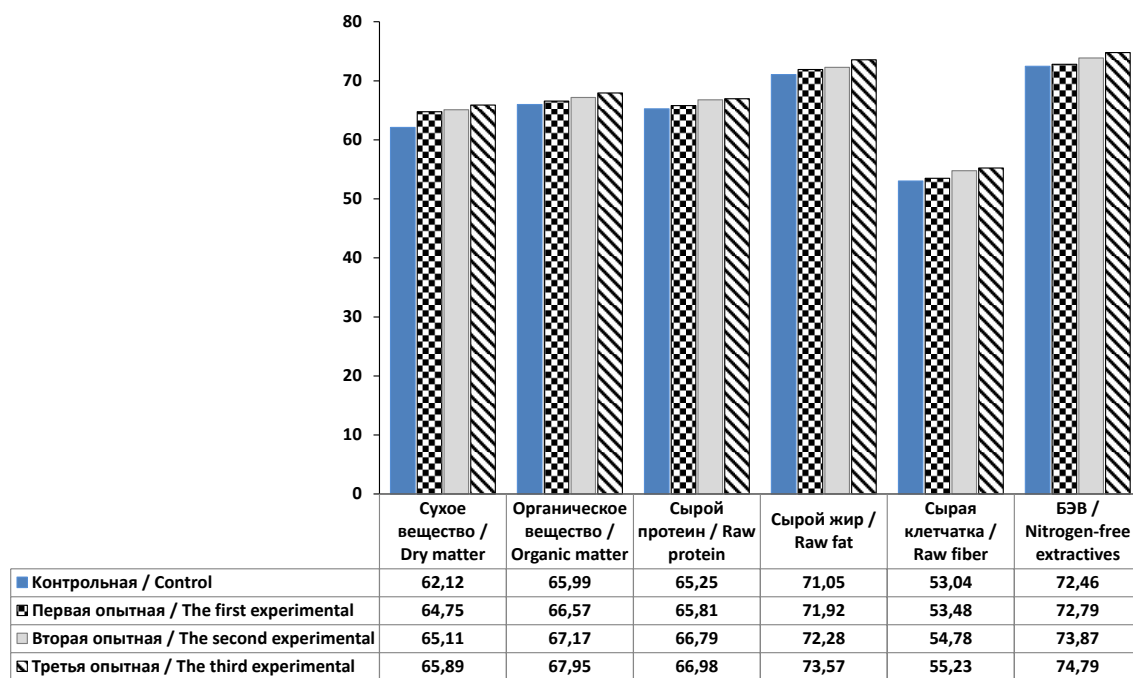


Рис. 1. Коэффициенты переваримости питательных веществ кормов в рационах молодняка крупного рогатого скота при скармливании разных доз экструдата зерна озимой ржи, % /

Fig. 1. Digestibility coefficients of nutrients in the diets of young cattle when fed with different doses of winter rye grain extrudate, %

Молодняк КРС (тёлочки) первой, второй и третьей опытных групп показали большие результаты по сравнению с тёлочками контрольной по переваримости питательных веществ рациона, соответственно, сухого вещества на 0,63, 0,99 и 1,77 % ($p<0,01$), органического вещества – на 0,58, 1,18 и 1,96 % ($p<0,01$), сырого протеина – на 0,56, 1,54 и 1,73 % ($p<0,01$), сырого жира – на 0,87, 1,23 и на 2,52 % ($p<0,05$), сырой клетчатки – на 0,44, 1,74 и 2,19 % ($p<0,05$), БЭВ – на 0,33, 1,41 и на 2,33 % ($p<0,05$).

Нами было изучено влияние повышения сахаропротеинового отношения в рационе тёлок за счёт включения экструдата зерна озимой ржи в концентратную часть на биохимический состав рубцовой жидкости (рис. 2, 3).

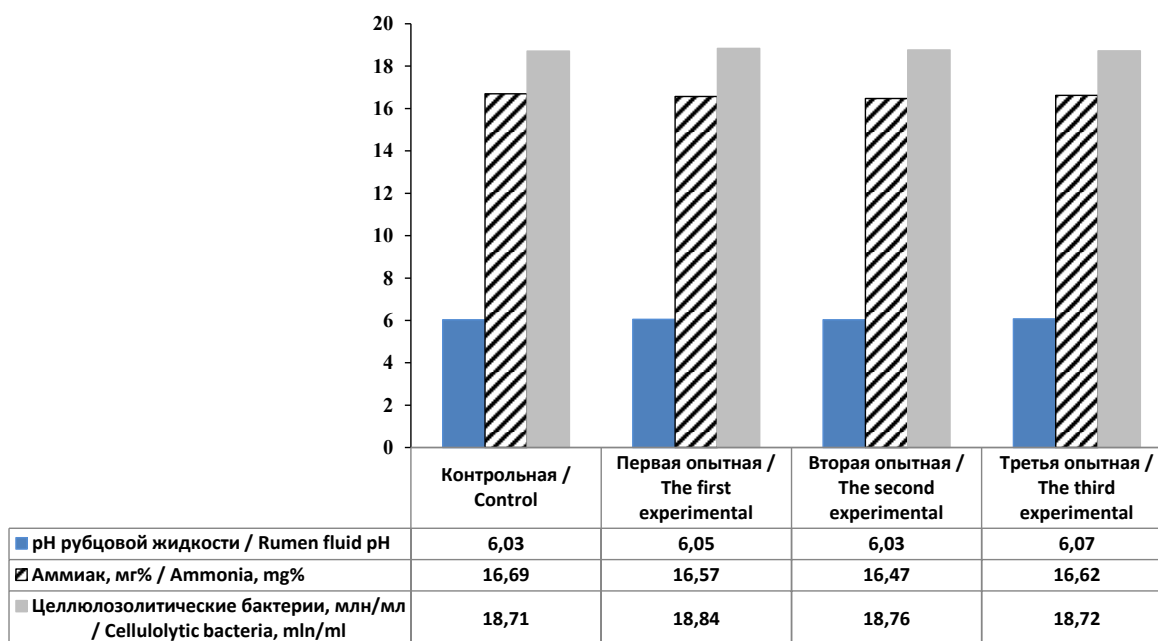
Кислотность рубцовой жидкости в норме должна находиться в пределах значения pH 6,5-7,4. Это является оптимальной средой для размножения микроорганизмов в рубце

КРС. Научно обоснованный показатель кислотности в рубце свойственен только для здоровых животных при биологически полноценном кормлении. Но когда подвергается сбраживанию большой объём корма, кислотность в рубце увеличивается, или иными словами, выработка органических кислот в процессе брожения выше уровня их нейтрализации и всасывания [23]. В нашем эксперименте результаты исследования показали, что уровень pH во всех исследуемых группах в начале и конце опыта находился в пределах физиологической нормы – слабощелочная реакция содержимого рубца у тёлок опытных групп и слабокислая – в контроле.

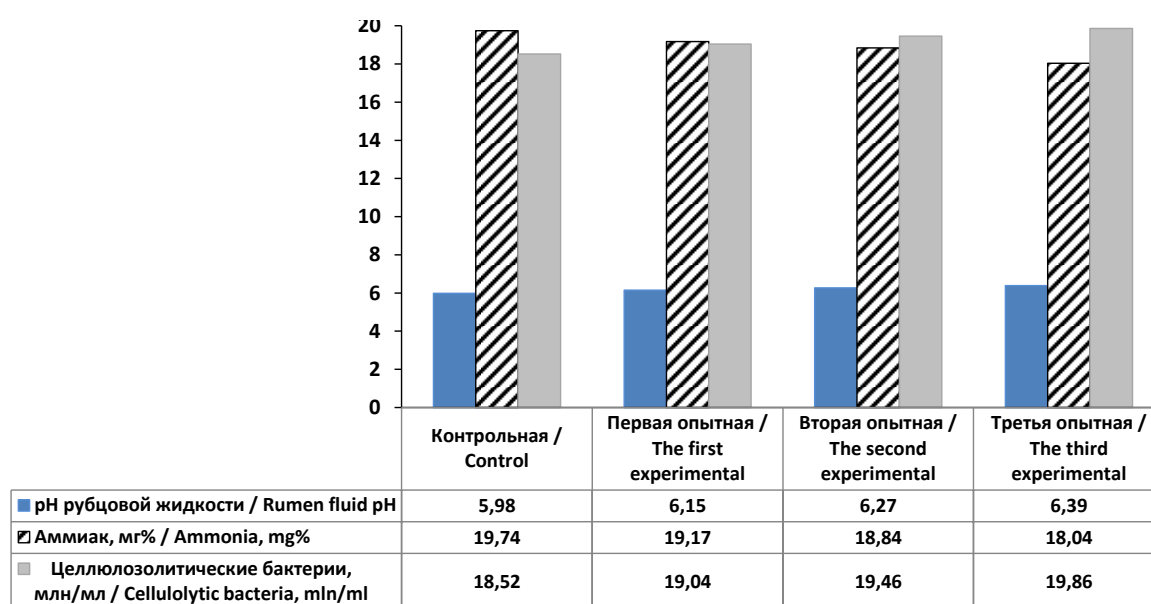
Общеизвестно, что протеин корма (около 40-80 %), который поступает в пищеварительный тракт животного, подвергается различным преобразованиям, в том числе и гидролизу, в последующем распадаясь в процессе ферментации до аминокислот, пептидов и аммиака,

также из поступившего с кормом в организм жвачного животного небелкового азота образуются аминокислоты и аммиак. Общая потребность жвачных в белке удовлетворяется на 20-30 % за счёт микробного белка. Аммиак, всасывающийся из рубцовой жидкости в венозную кровь, в печени превращается в мочевины. В пик образования аммиака в рубце происходит повышение концентрации аммиака в крови, так как он не может во всем

объёме превратиться в мочевины в печени. Происходит перенасыщение крови аммиаком и у животного возникает токсикоз. По данным наших исследований, содержание аммиака в рубцовой жидкости первой опытной группы тёлочек через три часа после кормления было меньше на 0,62 мг% (на 2,97 %) $p < 0,05$, во второй – на 1,22 мг% (на 4,77 %) $p < 0,05$, в третьей – на 1,70 мг% (на 9,42 %) $p < 0,01$ по сравнению с контрольной.



*Рис. 2. Некоторые показатели содержимого рубца ремонтных тёлочек за 1 час до кормления /
Fig. 2. Some indicators of the contents of the scar of repair heifers 1 hour before feeding*



*Рис. 3. Некоторые показатели содержимого рубца ремонтных тёлочек через 3 часа после кормления /
Fig. 3. Some indicators of the contents of the scar of repair heifers 3 hours after feeding*

Наиболее важными микроорганизмами в рубцовом пищеварении являются целлюлозолитические, так как под их воздействием происходит преобразование клетчатки до простых углеводов. В последующем сбраживание простых углеводов до летучих жирных кислот осуществляют молочнокислые микроорганизмы. Одной из причин снижения переваривания клетчатки является наличие в испытуемом рационе легкопереваримых углеводов, таких как сахароза, выше норм потребности животного, так как целлюлозолитические микроорганизмы начинают в первую очередь перерабатывать более простые формы углеводов, а не саму клетчатку. При преобразовании лишнего сахара в рационе образуется более высокое содержание молочной кислоты, за счёт которой повышается кислотность в рубце, а наиболее продуктивно ведут себя целлюлозолитические бактерии при кислотности рубца 6,2-6,4. Экспериментальные данные нашего опыта свидетельствуют, что

количество целлюлозолитических бактерий в рубцовой жидкости ремонтных тёлочек первой опытной группы больше на 2,81 % ($p<0,05$), второй – на 5,07 % ($p<0,01$), третьей – на 7,23 % ($p<0,05$) по сравнению с контролем.

Все обменные процессы, протекающие в организме животного тесно взаимосвязаны друг с другом и отражаются на составе крови. Анализируя данные таблицы 2, следует отметить, что с возрастом тёлочек растёт уровень общего белка в сыворотке крови. Соотношение белковых фракций тоже изменяется в сторону увеличения. В сыворотке крови динамика роста содержания общего белка была заметна у животных второй и третьей опытных групп. У них также наблюдалось достоверное повышение общего белка в конце опыта на 1,72 и 6,96 % ($p<0,001$) при сравнении с тёлочками контрольной группы. Основываясь на эти данные, можно судить о более положительном обмене азота в организме тёлочек второй и третьей опытных групп.

*Таблица 2 – Биохимический анализ крови ремонтных тёлочек (n = 3) ($X \pm Sx$) /
Table 2 – Biochemical analysis of blood of replacement heifers (n = 3) ($X \pm Sx$)*

Показатель / Indicator	Норма / Standard	Группа / Group			
		контрольная / control	первая опытная / the first experi- ment-tal	вторая опытная / the second experi- menttal	третья опытная / the third experi- mental
В начале опыта / At the beginning of the experience					
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	72-86	73,13±0,53	73,28±0,32	72,93±0,75	72,97±0,17
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	2,20- 3,30	2,44±0,54	2,45±0,71	2,26±0,58	2,34±0,44
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	1,30- 4,42	3,24±0,65	3,22±0,93	3,18±0,54	3,38±0,57
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	3,30- 6,70	5,36±0,12	5,39±0,34	5,25±0,21	5,33±0,09
В конце опыта / At the end of the experiment					
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	72-86	73,83±0,53	74,63±0,32	75,10±0,75	78,97±0,17***
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	2,20- 3,30	2,56±0,41	2,75±0,71	2,81±0,58	3,04±0,44
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	1,30- 4,42	3,64±0,55	3,82±0,93	4,02±0,54	4,18±0,57
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	3,30- 6,70	5,45±0,12	5,11±0,34	4,99±0,21	4,87±0,09*

* Достоверно при $p<0,05$; *** при $p<0,001$ * Reliably at $p<0,05$; *** at $p<0,001$

Научно обосновано, что концентрация в крови животных глюкозы играет важную роль в обеспечении физиологических функций организма. В процессе метаболизма глюкозы образуются химические вещества, необходимые

для обеспечения основных процессов обмена веществ. Многочисленными научными исследованиями доказано, что повышение глюкозы в сыворотке крови животных указывает на улучшение обмена веществ и общего состояния

животных за счёт повышения качества кормления. По научному обоснованию глюкоза является источником энергии всех жизненно важных физиологических процессов в организме. По окончании опыта выявлено, что в крови ремонтных тёлочек всех экспериментальных групп уровень глюкозы был в пределах физиологической нормы (2,56-3,04 ммоль/л). У тёлочек опытных групп уровень глюкозы был выше по сравнению с контролем в первой на 7,42 %, во второй – на 9,76 % и в третьей – на 18,75 % (табл. 2). Установленная динамика и уровень глюкозы в крови животных опытных групп обусловлены сложной нейрогуморальной регуляцией в ответ на введение в рацион тёлочек экструдата зерна озимой ржи, содержащего большой объём кормового сахара.

Содержание холестерина в крови животных всех экспериментальных групп находилось в пределах физиологической нормы – 1,30-4,42 ммоль/л. Исходя из научного заключения, холестерин организму необходим как предшественник половых гормонов и витамина Д. По этому показателю можно судить об успешности дальнейших результатов в воспроизводстве стада. В нашем случае имеет место высокое содержание холестерина у ремонтных тёлочек третьей опытной группы 4,18 ммоль/л, в сравнении со второй опытной группой больше на 0,16 ммоль/л (на 2,34 %), с первой – на 0,36 ммоль/л (3,79 %) и контрольной – на 0,54 ммоль/л (8,42 %). Поскольку уровень холестерина в крови тёлочек опытных групп выше по сравнению с контролем, то можно предположить, что более высокое его наличие результативнее отразится на выработке половых гормонов у тёлочек опытных групп, получавших в составе концентратной части рациона экструдат зерна озимой ржи, что возможно в последующем в период осеменения положительно повлияет на результаты воспроизводства тёлочек опытных групп.

Научно обосновано, что мочевина – это одна из фракций остаточного азота крови,

составляющая около 50 % всего его количества. Она является индикатором степени использования и биологической ценности переваренного протеина. К концу опыта содержание мочевины в крови у всех групп было в пределах физиологической нормы (3,30-6,70 ммоль/л). У тёлочек опытных групп содержание мочевины в крови было ниже, по сравнению с контролем, в первой – на 0,34 ммоль/л (на 6,65 %), во второй – на 0,46 ммоль/л (9,21 %) и в третьей – на 0,58 ммоль/л (14,90 %) $p < 0,05$. Полученные данные позволяют предположить, что у тёлочек второй и третьей опытных групп конверсия азота в продукцию выращивания была выше по сравнению с контролем.

Выводы. После экструзионной переработки зерна озимой ржи содержание сахара в экструдате увеличилось в 2,46 раза и составило в расчете на 1 кг абсолютно сухого вещества 12,44 %.

Ремонтные тёлочки первой, второй и третьей опытных групп показали большие результаты по сравнению с животными контрольной группы по переваримости сухого вещества рациона на 0,63 %, 0,99 и 1,77 % ($p < 0,01$) соответственно.

Численность целлюлозолитических бактерий в рубцовой жидкости ремонтных тёлочек первой опытной группы больше на 2,81 % ($p < 0,05$), второй – на 5,07 % ($p < 0,01$), третьей – на 7,23 % ($p < 0,05$) по сравнению с контролем.

У тёлочек опытных групп содержание мочевины в крови было ниже, по сравнению с контролем, в первой – на 0,34 ммоль/л (на 6,65 %), во второй на 0,46 ммоль/л (9,21 %) и в третьей – на 0,58 ммоль/л (14,90 %) при $p < 0,05$. Полученные данные позволяют предположить, что у тёлочек второй и третьей опытных групп, получавших 25,0 и 50,0 % от сухого вещества концентратной части рациона экструдат зерна озимой ржи, обменные процессы в организме проходили более интенсивно по сравнению с контрольными.

Список литературы

1. Мотовилов К. Я., Науменко И. В., Волончук С. К., Резепин А. И. Исследование и разработка способов получения кормовых сахаропроductов из зерновых культур в СИБНИИП СФНЦА РАН. Пища. Экология. Качество: сб. тр. XVII Международ. научн.-практ. конф. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2020. С. 422-425. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44818459>
2. Горшков В. В. Разработка научных основ функционального кормления крупного рогатого скота с использованием сельскохозяйственного и вторичного сырья, подвергнутого комплексным технологическим обработкам. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017;(9):125-129. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29980839>

3. Сысуев В. А., Кедрова Л. И., Уткина Е. И. Значение озимой ржи для сохранения природного агро-экологического баланса и здоровья человека (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2020;(1):14-20. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-014-020>
4. Шакирзянов А. Х., Лещенко Н. И., Никонорова И. М., Агафонова В. А. Перспективные образцы озимой ржи для селекции кормовой ржи в условиях юго-западного Предуралья. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(8):38-42. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10808>
5. Исмагилов Р. Р., Ахиярова Л. М., Ахияров Б. Г. Качества зерна сортов озимой ржи в процессе хранения. Аграрный вестник Урала. 2011;(3):63. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17839063>
6. Сысуев В. А., Кедрова Л. И., Уткина Е. И. Приоритетные направления исследований в решении проблемы multifunctional использования озимой ржи. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014;(6(43)):4-8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22484544>
7. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Тагиров М. Ш., Гильмуллина Л. Ф., Маннапова Г. С. Генотипическая изменчивость содержания пентозанов в зерне озимой ржи. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(5):1041-1048. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.1041rus>
8. Liu W-C., Halley P. J., Gilbert R. G. Mechanism of degradation of starch, a highly branched polymer, during extrusion. Macromolecules. 2010;43(6):2855-2864. DOI: <https://doi.org/10.1021/ma100067x>
9. Пешка М., Камышек М., Рудзкий Б., Лопушанская-Русек М. Использование зерна гибридной ржи в кормлении коров голштинофризской породы на ранней стадии лактации в Польше. Молочное и мясное скотоводство. 2017;(1):32-35. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28392315>
10. Шариков А. Ю., Амелякина М. В. Модификация углеводов сельскохозяйственного сырья в процессе термопластической экструзии (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):795-803. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.795-803>
11. Славнов Е. В., Петров И. А. Теоретические основы экструзии зерновых и отжима масличных культур. Пермь: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2019. 328 с.
12. Морозков Н. А., Ситников В. А. Экструдированная рожь в рационе дойных коров. Достижения науки и техники АПК. 2013;(5):50-53. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19049674>
13. Шариков А. Ю., Степанов В. И., Иванов В. В. Термопластическая экструзия в процессах пищевой биотехнологии. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019;9(3):447-460. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-447-460>
14. Brennan M. A., Derbyshire E., Tiwari B. K., Brennan C. S. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. International Journal of Food Science & Technology. 2013;48(5):893-902. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
15. Ситников В. А., Морозков Н. А. Использование зерна озимой ржи экструзионной обработки в кормлении коров: монография. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2016. 134 с.
16. Болотова Н. С. Экструдированные рапс и ячмень в рационах молодняка крупного рогатого скота. Кормопроизводство. 2011;(5):45.
17. Шагалиев Ф., Назыров В., Хасанова Ф. Экструдированные корма для коров. Животноводство России. 2012;(10):59.
18. Касьянов Р. О., Смоловская О. В., Белова С. Н. Экструдированный корм в рационах сельскохозяйственных животных. Аграрные проблемы горного Алтая и сопредельных регионов: мат.-лы Всеросс. научн.-практ. конф., посвящ. 90-летию Горно-Алтайского НИИ сельского хозяйства и 100-летию Министерства сельского хозяйства Республики Алтай (Барнаул). Санкт-Петербург: изд-во Азбука, 2020. С. 176-183. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44211056>
19. Боровский А. Ю., Балджи Ю. А., Шантыз А. Х., Исабекова С. А., Султанаева Л. З. Эффективность использования экструдированных кормов. Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых: мат.-лы VIII Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. 50-летию создания Совета молодых ученых СО ВАСХНИЛ. Краснообск: Сибирский ФНЦ агробиотехнологий РАН, 2021. С. 308-316.
20. Cabrera-Ramirez A. H., Cervantes-Ramirez E., Morales-Sanchez E., Rodriguez-Garcia M. E., Reyes-Vega M. de la L., Gaytan-Martinez M. Effect of Extrusion on the Crystalline Structure of Starch during RS5 Formation. Polysaccharides 2021;2(1):187-201. DOI: <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2010013>
21. Nessi V., Falourd X., Maigret J.-E., Cahier K., D'Orlando A., Descamps N., Gaucher V., Chevigny Ch., Lourdin D. Cellulose nanocrystals/starch nanocomposites produced by extrusion: Structure and behavior in physiological conditions. Carbohydrate Polymers. 2019;225:115123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115123>
22. Кузнецов В. М. Основы научных исследований в животноводстве. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 568 с.
23. Алексеева Л. В., Лукьянов А. А. Процессы рубцового метаболизма в организме бычков при введении в рацион нанопорошка меди и её соли. Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2016;(S2). Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27533595>

References

1. Motovilov K. Ya., Naumenko I. V., Volonchuk S. K., Rezepin A. I. Research and development of methods for obtaining feed sugar products from grain crops at SIBNIIP SFNCA RAS. Food. Ecology. Quality: sat. tr. XVII International. scientific.-practical conf. Ekaterinburg: *Ural'skiy gosudarstvennyy ekonomicheskiiy universitet*, 2020. C. 422-425. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44818459>
2. Gorshkov V. V. Development of scientific foundation of cattle functional nutrition with the use of agricultural and secondary raw materials undergone integrated technological processing. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;(9):125-129. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29980839>
3. Sysuev V. A., Kedrova L. I., Utkina E. I. Importance of winter rye for maintaining natural agroecological balance and human health (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(1):14-20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-014-020>
4. Shakirzyanov A. Kh., Leshchenko N. I., Nikonorova I. M., Agafonova V. A. Promising samples of winter rye for breeding for forage purposes under conditions of the South-Western Cis-Urals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(8):38-42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10808>
5. Ismagilov R. R., Akhiyarova L. M., Akhiyarov B. G. Qualities of grain of grades of the winter rye in the course of storage. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2011;(3):63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17839063>
6. Sysuev V. A., Kedrova L. I., Utkina E. I. Priority directions of researches in decision of a problem of multipurpose use of winter rye. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2014;(6(43)):4-8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22484544>
7. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Tagirov M. Sh., Gilmullina L. F., Mannapova G. S. Pentosan content genotypic variability in winter rye grain. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(5):1041-1048. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.1041rus>
8. Liu W-C., Halley P. J., Gilbert R. G. Mechanism of degradation of starch, a highly branched polymer, during extrusion. *Macromolecules*. 2010;43(6):2855-2864. DOI: <https://doi.org/10.1021/ma100067x>
9. Peshka M., Kamyshek M., Rudzkiy B., Lopushanskaya-Rusek M. Evaluation of the usefulness of hybrid rye in feeding Polish holstein-friesian dairy cows in early lactation. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2017;(1):32-35. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28392315>
10. Sharikov A. Yu., Amelyakina M. V. Modification of carbohydrates of food raw materials in the process of thermoplastic extrusion (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):795-803. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.795-803>
11. Slavnov E. V., Petrov I. A. Theoretical foundations of grain extrusion and extraction of oilseeds. Perm': Nauchno-izdatel'skiy tsentr «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2019. 328 p.
12. Morozkov N. A., Sitnikov V. A. Extruded rye in the diet of dairy cows. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2013;(5):50-53. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19049674>
13. Sharikov A. Yu., Stepanov V. I., Ivanov V. V. Thermoplastic extrusion in food biotechnology processes. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2019;9(3):447-460. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-447-460>
14. Brennan M. A., Derbyshire E., Tiwari B. K., Brennan C. S. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science & Technology*. 2013;48(5):893-902. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
15. Sitnikov V. A., Morozkov N. A. The use of winter rye grain extrusion processing in cow feeding: monograph. Perm': *IPTs «Prokrost»*, 2016. 134 p.
16. Bolotova N. S. Extruded rape and barley in rations of young cattle. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2011;(5):45. (In Russ.).
17. Shagaliev F., Nazyrov V., Khasanova F. Extruded feed for cows. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2012;(10):59. (In Russ.).
18. Kasyanov R. O., Smolovskaya O. V., Belova S. N. Efficiency of using extruded feed mixture for growing farm animals. Agrarian problems of the Altai Mountains and adjacent regions: All-Russian materials. Scientific.-practice. Conf., dedicated. The 90th anniversary of the Gorno-Altai Research Institute of Agriculture and the 100th anniversary of the Ministry of Agriculture of the Altai Republic (Barnaul). Saint-Petersburg: *izd-vo Azbuka*, 2020. pp. 176-183. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44211056>
19. Borovskiy A. Yu., Baldzhi Yu. A., Shantyz A. Kh., Isabekova S. A., Sultanaeva L. Z. Efficiency of using extruded feed. The latest trends in the development of agricultural science in the works of young scientists: materials of the VIII International Scientific-practical conf., dedicated. The 50th anniversary of the creation of the Council of Young Scientists WITH VASHNIL. Krasnoobsk: *Sibirskiy FNTs agrobiotekhnologii RAN*, 2021. pp. 308-316.

20. Cabrera-Ramirez A. H., Cervantes-Ramirez E., Morales-Sanchez E., Rodriguez-Garcia M. E., Reyes-Vega M. de la L., Gaytan-Martinez M. Effect of Extrusion on the Crystalline Structure of Starch during RS5 Formation. *Polysaccharides* 2021;2(1):187-201. DOI: <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2010013>

21. Nessi V., Falourd X., Maigret J.-E., Cahier K., D'Orlando A., Descamps N., Gaucher V., Chevigny Ch., Lourdin D. Cellulose nanocrystals/starch nanocomposites produced by extrusion: Structure and behavior in physiological conditions. *Carbohydrate Polymers*. 2019;225:115123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115123>

22. Kuznetsov V. M. Fundamentals of scientific research in animal husbandry. Kirov: *Zonal'nyy NIISKh Severo-Vostoka*, 2006. 568 p.

23. Alekseeva L. V., Lukyanov A. A. Processes of cicatricial metabolism in the organism of bull-calves at introduction in a diet of nanopowder of copper and its salts. *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU* = Research and Scientific Electronic Journal of Omsk SAU. 2016;(S2). (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27533595>

Сведения об авторах

✉ **Морозков Николай Александрович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Пермский район, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3454-7843>, e-mail: ivanushkizabereznik@yandex.ru

Суханова Елена Валерьевна, научный сотрудник лаборатории биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, 614532, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Пермский район, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0419-1126>

Терентьева Людмила Сергеевна, кандидат с.-х. наук, заведующая лабораторией биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Пермский район, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3958-1717>

Information about the authors

✉ **Nikolay A. Morozkov**, PhD in Agricultural sciences, senior researcher, the Laboratory of Agricultural Technologies, Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Culture St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3454-7843>, e-mail: ivanushkizabereznik@yandex.ru

Elena V. Sukhanova, post-graduate student, Junior researcher, the Laboratory of Biologically Active Feed, Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Culture St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0419-1126>

Lyudmila S. Terentyeva, PhD in Agricultural sciences, Head of the Laboratory of Biologically Active Feed, Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Culture St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3958-1717>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.507-514>

УДК 633.31/.37:664.23:664.38



Оценка различных сортов гороха как сырья для глубокой переработки

© 2022. В. Г. Гольдштейн[✉], Л. П. Носовская, Л. В. Адикаева, В. А. Коваленок

Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха», Московская область, Российская Федерация

В статье приводится обзор критериев выбора сортов гороха с целью оценки хозяйственно ценных признаков. Для эффективного использования гороха, как сырья для глубокой переработки, можно рассматривать два направления: совместное увеличение содержания белка и крахмала или выбор сортов с требуемыми показателями. Приведены результаты лабораторных исследований переработки на крахмал и белковый изолят 37 сортообразцов гороха из коллекции ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур». В качестве критериев оценки, определяющих высокие технологические свойства, обеспечивающие наиболее полное извлечение крахмала и белкового изолята, выбраны коэффициенты извлечения этих компонентов. При выборе сорта гороха необходимо учитывать также физико-химические свойства крахмала, которые зависят от массовой доли амилозы. В соответствии с полученными результатами, наиболее перспективными для переработки зерна на крахмал и белковый изолят определены сорта Орловчанин, Алла, Родник, Сибирский 1, Фараон, Ягуар, Софья. Самое эффективное извлечение основных продуктов переработки – белкового изолята и крахмала установлено для сорта Алла, коэффициент извлечения белка 81,2 %, крахмала 90,6 %. Из морицинистых сортов гороха для промышленной переработки наибольший интерес представляет селекционная линия Амиус 1241 с коэффициентами извлечения изолята белка и крахмала 70,3 и 69,1 % и массовой долей амилозы в крахмале 81,5 %. Установлено, что массовая доля крахмала и белка в зерне гороха не коррелирует с коэффициентами извлечения изолята белка и крахмала при переработке белка из гороховой муки щелочным методом. При переработке сортов морицинистого гороха возникают трудности с отделением крахмала и остатками нерастворенного в щелочной среде белка, т. к. в этих сортах гороха обнаружены сложные крахмальные гранулы, которые легко дробятся на мелкие неправильные и полигональные. В гладких сортах гороха крахмальные гранулы имеют овальную форму с высоким процентом крупных размеров, и поэтому проблем с разделением крахмалобелковой суспензии не возникает. Определена зависимость вязкости 3%-го горохового крахмального клейстера от массовой доли амилозы в гороховом крахмале. Выбор сорта гороха для переработки позволяет производить крахмал, имеющий прижизненную модификацию, т. е. обладающий требуемыми физико-химическими свойствами и резистентностью. Кроме того, в зависимости от выбора сорта гороха можно прогнозировать выход изолята и концентрата белка.

Ключевые слова: переработка гороха, крахмал, белковый изолят, амилоза, вязкость клейстера

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания (тема № АААА-А17-117120520021-8).

Авторы признательны руководству ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур», А. А. Зеленову и А. Н. Зеленову за предоставленные сортообразцы зерна гороха для исследования.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гольдштейн В. Г., Носовская Л. П., Адикаева Л. В., Коваленок В. А. Оценка различных сортов гороха как сырья для глубокой переработки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):507-514.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.507-514>

Поступила: 27.06.2022

Принята к публикации: 22.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Evaluation of various varieties of peas as raw material for deep processing

© 2022. Vladimir G. Goldstein , Lilia P. Nosovskaya, Larisa V. Adikaeva,

Vladimir A. Kovalenok

All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow region, Russian Federation

The article provides an overview of the criteria for choosing pea varieties to evaluate economically valuable traits. For the effective use of peas as raw materials for deep processing, two directions can be considered: a joint increase in the content of protein and starch or the choice of varieties with the required indicators. The results of laboratory studies of processing for starch and protein isolate of 37 variety samples of peas from the collection of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops» are presented. As evaluation criteria determining high technological properties, providing the most complete extraction of starch and protein isolate there have been selected coefficients of extraction of these components. When selecting a variety of peas, it is also necessary to consider the physico-chemical properties of starch, which depend on the mass fraction of amylose. According to the results obtained, the most promising varieties for the processing of grain into starch and protein isolate are Orlovchanin, Alla, Rodnik, Sibirsky 1, Pharaon, Jaguar, Sophia. The most efficient extraction of the main processed products – protein isolate and starch is established for the variety Alla, protein extraction coefficient 81.2 %, starch 90.6 %. Among the wrinkled pea varieties for industrial processing, the Amius 1241 breeding line is the most interesting, with protein isolate and starch extraction coefficients of 70.3 and 69.1 % and a mass fraction of amylose in starch of 81.5 %. It is found that the mass fraction of starch and protein in pea grains does not correlate with the extraction coefficients of protein and starch isolate during processing by two-stage extraction of protein from pea flour using the alkaline method. When processing wrinkled pea varieties, there are difficulties in separating the starch and residual protein undissolved in alkaline medium, since these pea varieties are found to have complex starch granules, which are easily crushed into small irregular and polygonal granules. In smooth pea varieties, the starch granules are oval in shape with a high percentage of large size and therefore there are no problems with separation of the starch-protein suspension. The dependence of viscosity of 3.0 % pea starch paste on the mass fraction of amylose in pea starch has been determined. The choice of pea variety for processing makes it possible to produce starch that has lifetime modification, i.e., that has the required physical and chemical properties and resistance. In addition, depending on the choice of pea variety, it is possible to predict the yield of isolate and protein concentrate.

Keywords: pea processing, starch, protein isolate, amylose, paste viscosity.

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment (theme No. AAAAA-A17-117120520021-8).

The authors are grateful to the directorship of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops», Andrew A. Zelenov and Anatoly N. Zelenov for providing pea grain varieties for research.

The authors thank the reviewers for their contributions to peer review of the work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citation: Goldstein V. G., Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V., **Kovalenok V. A.** Evaluation of various varieties of peas as raw materials for deep processing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):4.507-514. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.4.507-514>

Received: 27.06.2022

Accepted for publication: 22.07.2022

Published online: 25.08.2022

Горох является ценным продуктом здорового питания как источник сложных углеводов, белков и пищевых волокон витаминов и минералов. Существует множество сортов гороха с различными свойствами и составом, гладкими или морщинистыми семенами. Гороховый крахмал содержит больше амилозы, чем крахмал из других зерновых и картофеля, поэтому он является подходящим материалом для производства биоразлагаемых упаковок, бумаги и гофрокартона [1]. Клетчатка из семенной оболочки и клеточных стенок семян гороха способствует функционированию и здоровью желудочно-кишечного тракта, а также снижает усвояемость крахмала. Промежуточное содержание амилозы в гороховом крахмале также

способствует его более низкому гликемическому индексу и снижению усвояемости крахмала [2]. Гранулы крахмала гороха имеют размеры 5-30 мкм, а белковые тела 2-4 мкм [3].

Горох является одной из востребованных культур по производству растительного белка, содержание которого в горохе колеблется от 13 до 38 % и зависит от экологических и генетических факторов. Гены, непосредственно регулирующие белок, и гены, участвующие в биосинтезе крахмала, косвенно играют ключевую роль в определении содержания и состава белка в горохе. Содержание белка часто отрицательно коррелирует с содержанием крахмала и урожайностью семян [4]. В качестве основных задач по селекции гороха приняты – увеличение

массовой доли белка, оптимизация его аминокислотного состава, увеличение массовой доли крахмала и доли амилозы в крахмале [5, 6]. При оценке хозяйственно ценных признаков различных сортов гороха в качестве основного критерия принимали массовую долю белка в зерне [7]. В результате исследований по определению оптимальных параметров извлечения белкового изолята щелочной экстракцией установлено: при pH выше 8 наблюдается увеличение выхода изолята и уменьшение в нем массовой доли сырого протеина. Так, повышение pH с 8 до 10 позволяет увеличить массу извлекаемого изолята на 14,3 % и массовую долю жира в нем с 9,8 до 11,3 %. Двукратное экстрагирование при увеличении pH с 8 до 10 уменьшает массовую долю протеина, извлеченного на первой стадии экстракции, на 2,1 % и на 8,7 % – на второй стадии [8]. При превышении значений pH экстрагента более 11 происходит набухание крахмала, его модификация и затрудняется извлечение белкового изолята [8]. В результате исследования 21 образца сортов гороха и экспериментальных линий установлены корреляции между массовыми долями белка и семенных оболочек и отрицательная корреляция между массовой долей оболочек и содержанием крахмала и жира. Установлено, что массовая доля амилозы в крахмале имеет отрицательную корреляцию с массовой долей крахмала в зерне и положительную с массовой долей жира [9]. Горох содержит множество фитохимических веществ, которые раньше считались только антипитательными факторами. К ним относятся: полифенолы, в частности, в окрашенных семенных оболочках, которые могут обладать антиоксидантной и противораковой активностью; сапонины, которые могут проявлять гипохолестеринемическую и противораковую активность; олигосахариды галактозы, которые могут оказывать благоприятное пребиотическое действие в толстом кишечнике [2].

Крахмал, белок и клетчатка являются основными компонентами гороха, в среднем 46 и 20 % от массы СВ семян соответственно. Содержание белка в горохе варьируется от 13 до 38 % и зависит от экологических и генетических факторов при среднем показателе 22,3 % [10].

Качество вырабатываемого горохового крахмала зависит от содержания в нем амилозы. Среднее содержание амилозы в гладком горохе составляет 27,8 %, а количество резистентного

крахмала изменяется от 2,07 до 6,31 % [11]. В морщинистом горохе среднее содержание амилозы составляет 76,82 % общего количества крахмала [11], а массовая доля резистентного крахмала – 7,9-11,4 % [12].

Для эффективного использования гороха, как сырья для глубокой переработки, можно рассматривать два направления: совместное увеличение содержания белка и крахмала или выбор сортов с требуемыми показателями. На основании вышеизложенного, в качестве основных критериев оценки сортов и экспериментальных линий гладкого и морщинистого гороха выбраны выход изолята белка, крахмала, концентрата белка, не извлеченного щелочной экстракцией, клетчатки и массовая доля амилозы в крахмале.

Цель исследования – анализ целесообразности переработки на крахмал, белковые компоненты и пищевые волокна (клетчатку) зерен различных сортов и экспериментальных линий гороха.

Научная новизна: новые данные о влиянии сорта гороха на качественные и количественные показатели продуктов, полученных в результате его переработки.

Материал и методы. Объекты исследования – зерно сортов гороха из коллекции ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур» гладкого – Малиновка, Зарянка, Орловчанин, Слован, Визир, Русь, Инс-тип, Мультик, Алла, Вельвет, Оптимус, Спартак, Родник, Сибирский 1, Темп, Фараон, Ягуар, Софья; морщинистого – Амиор; селекционных линий гороха: морщинистого – Амих 99-1132, Амий 309/9, Амиус 1241; гладкого – Яг-06-83, Л-18-16, Л-186-16, Л-80-11, Яг-07-643, Л-102-07, Л-141-16, Яг-10-384, Х2-12-9, Яг-06-83, Л-94/15, ЛУ-268/16, ЛУ-272/16, ПАП-193/10, Пап 1267/16.

Исследования проводили с учетом требований международной организации по стандартизации ISO (ИСО): массовая доля влаги (ГОСТ 13586); массовая доля белка – на приборе К-424 (ГОСТ 10842); массовая доля крахмала (ГОСТ 10845) – с использованием поляриметра Polartronic-N; определение амилозы в крахмале – с использованием фотометра КФК-3 (ГОСТ ISO 6647-1-2015).

Зерно гороха измельчали на лабораторной мельнице ЛЗМ до отсутствия остатка на сите с ячейками 250 мкм, 75 г измельченной муки смешивали с 600 мл воды температурой 35 °С и доводили pH суспензии до показателя

8,5 10%-м раствором гидроксида натрия и при периодическом перемешивании выдерживали 60 мин. Суспензию центрифугировали при 3000 g на лабораторной центрифуге ОЦ в течение 5 мин. Экстракт отделяли от осадка, после чего осадок размешивали в 600 мл воды температурой 35 °С и доводили рН суспензии до показателя 9,5 10%-м раствором гидроксида натрия и при периодическом перемешивании выдерживали 60 мин. Суспензию центрифугировали при 3000 g в течение 5 мин. Полученные экстракты смешивали, нагревали до температуры 48 ± 2 °С и понижали рН раствора до показателя 4,5. Суспензию подвергали центрифугированию при 3000 g в течение 5 мин. Полученные продукты (сыворотка горохового белка и изолят горохового белка) разделяли. Изолят горохового белка размешивали в дистиллированной воде в соотношении 1: 5, центрифугировали при 3000 g в течение 5 мин и высушивали.

Зерновую массу, оставшуюся после второй экстракции белка щелочным раствором, перерабатывали на лабораторной установке «завод на столе», разработанной во ВНИИ крахмалопродуктов [13] для разделения и исследования качественных показателей крахмала, клетчатки (пищевых волокон) и остаточного белка (нерастворимого в щелочном растворе), выделенного как белковый концентрат.

Исследования проводили в 5-кратной повторности. Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента, различия считали достоверными при пороге надежностей $b_1 = 0,95$ с уровнем статистической зависимости $p \leq 0,05$. Рассчитывали средние значения (М) и ошибки средних значений ($\pm m$).

Математическая обработка результатов проведена по программе TableCurve 2D.

Результаты и их обсуждение. При оценке хозяйственно ценных признаков гороха исходили из массовой доли крахмала и белка в исследуемых образцах и коэффициентов извлечения изолята белка и крахмала при переработке. Кроме того, определена массовая доля амилозы в крахмале, % СВ крахмала, т. к. этот показатель влияет на качественные показатели крахмала и его резистентность [14]. Результаты исследований приведены в таблице.

В соответствии с полученными результатами, наиболее перспективными для переработки зерна на крахмал и белковый изолят определены сорта Орловчанин, Алла, Родник,

Сибирский 1, Фараон, Ягуар, Софья. Самое эффективное извлечение основных продуктов переработки – белкового изолята и крахмала установлено для сорта Алла, коэффициент извлечения белка 81,2 %, крахмала – 90,6 %. Представляет интерес переработка гороха сорта Фараон с массовой долей амилозы в крахмале 42,6 % и коэффициентами извлечения изолята и крахмала 80,4 и 83,2 % соответственно. Установлено, что массовая доля крахмала и белка в зерне гороха не коррелирует с коэффициентами извлечения изолята белка и крахмала при переработке двухстадийной экстракцией белка из гороховой муки щелочным методом. Результаты, полученные при переработке гороха экспериментальных линий, не позволяют рекомендовать их как перспективное сырье для глубокой переработки, т. к. по коэффициентам извлечения изолята белка и крахмала не получено удовлетворительных результатов в сравнении с сортовым горохом. Для промышленной переработки наибольший интерес представляет селекционная линия морщинистого гороха Амиус 1241 с коэффициентами извлечения изолята белка и крахмала 70,3 и 69,1 % и массовой долей амилозы в крахмале 81,5 %, которая может быть рекомендована для регистрации в Госреестре.

При переработке сортов морщинистого гороха возникают трудности с разделением крахмалобелковой суспензии. В этих сортах гороха обнаружено повышенное содержание белка и массовая доля крахмала 32-35 %, найдены сложные крахмальные гранулы, которые легко дробятся на мелкие неправильные и полигональные. В гладких сортах гороха крахмальные гранулы имеют овальную форму с высоким процентом крупных размеров [15]. Это объясняет сложности разделения крахмалобелковой суспензии при переработке морщинистых сортов гороха, фрагменты гранул крахмала выводятся с побочными продуктами производства, в основном с частицами нерастворенного в щелочной среде белка, с содержанием в этом продукте 31-39 % крахмала в пересчете на СВ. При переработке гладких сортов гороха массовая доля крахмала в нерастворенном в щелочной среде белке составляет 11-24 %.

При выборе сорта гороха необходимо учитывать также физико-химические свойства крахмала, которые зависят от массовой доли амилозы.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Таблица – Результаты качественного состава гороха и коэффициенты извлечения белкового изолята и крахмала при переработке /
Table – The results of the qualitative composition of peas and the coefficients of extraction of protein isolate and starch during processing

Номер образца / Sample number	Сорт / линия / Variety / line	Массовая доля, % СВ зерна / Mass fraction, % of grain solids		Коэффициент извлечения, % / Extraction coefficients, %		Массовая доля амилозы в крахмале, % СВ крахмала / Mass fraction of amylose in starch, % starch solids
		крахмала / starch	белка / protein	крахмала / starch	белкового изолята / protein isolate	
1	Яг-06-83 / Yag-06-83	47,8±0,2	25,2±0,4	83,7	67,1	32,3±1,1
2	Малиновка / Malinovka	54,1±0,1	22,3±0,3	72,1	58,3	34,8±0,9
3	Л-18-16 / L-18-16	49,2±0,4	25,6±0,6	89,6	46,9	36,2±0,5
4	Зарянка / Zaryanka	49,3±0,3	24,9±0,2	76,2	84,3	34,9±1,0
5	Орловчанин / Orlovchanin	49,6±0,4	25,5±0,4	80,4	82,4	31,6±0,8
6	Слован / Slovan	52,7±0,2	20,8±0,5	80,0	77,9	32,9±0,9
7	Визир / Vizier	50,2±0,6	25,0±0,3	80,9	54,8	30,8±0,5
8	Русь / Rus	50,8±0,1	24,7±0,5	86,1	63,6	28,1±0,7
9	Инс-тип / Ins-type	52,3±0,4	22,8±0,8	83,4	68,8	37,1±0,9
10	Л-186-16 / L -186-16	53,2±0,2	22,4±0,5	83,3	68,8	35,8±0,6
11	Л-80-11 / L-80-11	52,8±0,4	22,6±0,7	77,5	32,3	41,8±0,3
12	Яг-07-643 / Yag -07-643	49,0±0,3	24,5±0,5	80,8	56,3	35,8±0,9
13	Л-102-07 / L-102-07	48,5±0,1	24,9±0,7	77,9	68,3	40,0±1,0
14	Л-141-16 / L-141-16	53,9±0,5	21,2±0,3	82,0	65,6	42,8±0,6
15	Яг-10-384 / Yag-10-384	53,3±0,7	21,5±0,4	79,4	74,9	35,4±0,5
16	X2-12-90 / X2-12-90	49,9±0,4	22,8±0,8	78,3	78,5	36,1±0,9
17	Мультик / Multik	48,0±0,1	27,7±0,6	74,0	51,3	33,7±0,9
18	Алла / Alla	41,5±0,7	27,3±0,3	90,6	81,2	27,7±0,5
19	Амиор / Amior	32,0±0,1	28,0±0,4	54,4	62,1	64,3±0,9
20	Амих 99-1132 / Amikh 99-1132	35,0±0,4	28,3±0,2	54,3	67,1	61,0±1,1
21	Вельвет / Velvet	49,2±0,5	27,4±0,7	76,8	78,6	35,5± 0,6
22	Амии 309/9 / Amii 309/9	32,9±0,3	28,8±0,6	56,3	54,7	86,0±1,2
23	Л-94/15 / L-94/15	50,7±0,7	24,0±0,3	71,0	73,3	36,8±0,4
24	ЛУ-268/16 / LOU-268/16	51,4±0,7	23,7±0,6	81,3	71,1	40,6±0,4
25	ЛУ-272/16 / LOU -272/16	49,6±0,5	27,6±0,3	74,7	65,9	38,0±1,0
26	Амиус 1241 / Amius 1241	30,4±0,1	28,2±0,6	69,1	70,3	81,5±1,2
27	Оптимус / Optimus	51,5±0,5	23,5±0,7	80,4	78,6	43,5±0,5
28	ПАП-193/10 / PAP-193/10	50,7±0,7	23,9±0,6	75,4	74,9	43,2±0,9
29	Родник / Rodnik	43,4±0,1	27,9±0,7	80,2	80,7	32,7±0,5
30	Рас 1098/8 / Ras 1098/8	49,6±0,4	27,5±0,3	79,4	73,5	49,8±0,9
31	Спартак / Spartac	45,2±0,2	25,4±0,7	84,5	68,9	33,4±0,5
32	Сибирский 1 / Sibirsky 1	46,4±0,5	26,4±0,6	85,3	78,3	34,1±0,9
33	Темп / Temp	50,8±0,4	24,3±0,8	70,9	79,1	33,5±0,9
34	Фараон / Pharaon	46,2±0,1	26,0±0,5	83,2	80,4	42,6±0,7
35	Ягуар / Yaguar	49,4±0,2	26,5±0,4	80,2	81,2	28,2±0,6
36	Пап 1267/16 / PAP 1267/16	41,8±0,7	29,0±0,5	86,8	67,6	37,1±0,9
37	Софья / Sofya	48,9±0,3	23,5±0,6	84,7	80,6	34,6±0,8

На основании экспериментальных данных получена зависимость вязкости 3%-х крах-

мальных клейстеров от массовой доли амилозы в гороховом крахмале (рис.).

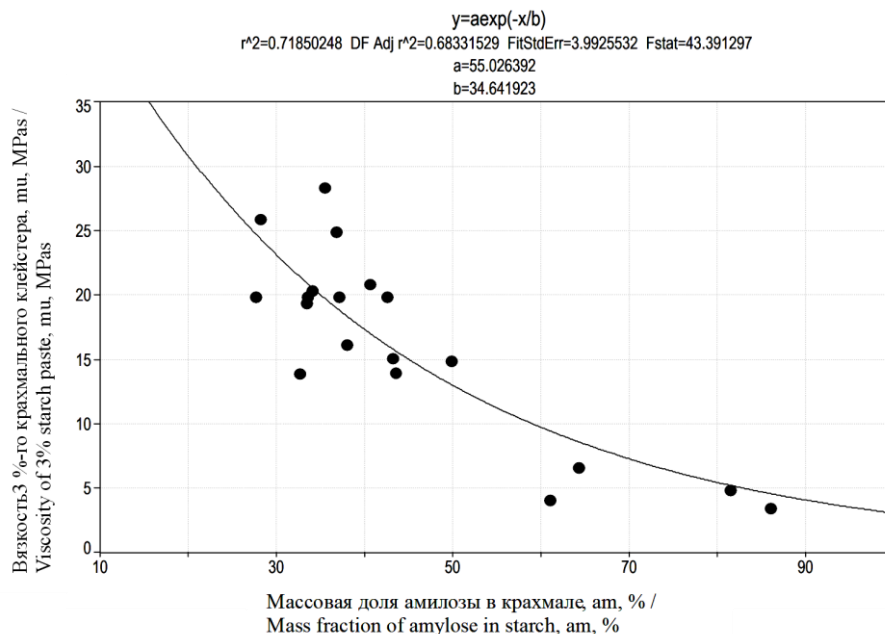


Рис. Зависимость вязкости 3%-го горохового крахмального клейстера от содержания амилозы $\mu = f(am)$

Fig. Dependence of the viscosity of 3% pea starch paste on the content of amylose $\mu = f(am)$

Зависимость вязкости трёхпроцентных крахмальных клейстеров от массовой доли амилозы в гороховом крахмале представлена формулой:

$$\mu(\text{мПа} \cdot \text{с}) = 55,03 \cdot \exp\left(-\frac{am}{34,642}\right),$$

где am – массовая доля амилозы в крахмале.

Коэффициент корреляции данного уравнения $R = 0,7185$ свидетельствует о достаточно высоком соответствии уравнения экспериментальным данным.

Следовательно, выбирая сорт гороха и определяя в крахмале массовую долю амилозы, можно вырабатывать крахмал с учетом требований конкретного потребителя.

Выводы.

1. В результате проведенных исследований 37 сортов и экспериментальных линий гороха из коллекции ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур» определены сорта Орловчанин, Алла, Родник, Сибирский 1, Фараон, Ягуар, Софья, рекомендуемые для переработки зерна на крахмал и белковый изолят на основании коэффициентов извлечения этих продуктов в результате лабораторной переработки.

2. Представляет интерес переработка зерна гороха сорта Фараон с массовой долей амилозы в крахмале 42,6 % и коэффициентами извлечения изолята и крахмала 80,4 и 83,2 % соответственно. Кроме высокого выхода белкового изолята и крахмала при переработке, этот сорт отличается от других выбранных для переработки сортов большим для гладкого гороха содержанием амилозы.

3. Из морщинистых сортов гороха для промышленной переработки наибольший интерес представляет селекционная линия Амиус 1241 с коэффициентами извлечения изолята белка и крахмала 70,3 и 69,1 % и массовой долей амилозы в крахмале 81,5 %, которая может быть рекомендована для регистрации в Госреестре.

4. Установлена зависимость вязкости 3%-го горохового крахмального клейстера от массовой доли амилозы в гороховом крахмале.

5. Выбор сорта гороха для переработки позволяет производить крахмал, имеющий прижизненную модификацию, т. е. обладающий требуемыми физико-химическими свойствами и резистентностью. Кроме того, в зависимости от выбора сорта гороха можно прогнозировать выход изолята и концентрата белка.

Список литературы

1. Talab H. A. Starch -protein extraction and separation it from green pea. European Online Journal of Natural and Social Sciences 2016;5(4):1012-1017. URL: https://www.researchgate.net/publication/351303050_Starch_-_protein_extraction_and_separation_it_from_green_pea
2. Dahl W. J., Foster L. M., Tyler R. T. Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). British Journal of Nutrition. 2012;108(S1):3 -10. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>
3. Kornet R., Venema P., Nijse J., Linden E., Meinders M. B. J. Yellow pea aqueous fractionation increases the specific volume fraction and viscosity of its dispersions. Food Hydrocolloids. 2019;99:105332. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105332>
4. Daba S., Morris C. F. Pea proteins: Variation, composition, genetics, and functional properties. Cereal Chemistry. 2022;99:8-20. DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.10439>
5. Василенко А. А., Тымчук С. М., Поздняков В. В., Супрун О. В., Анцифорова О. В., Безуглый И. М. Содержание и жирокислотный состав масла в семенах крахмал-модифицирующих мутантов гороха. Зернобобовые и крупяные культуры. 2017;(3(23)):33-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29924504>
6. Пшеничная И. А., Филатова И. А., Беляева Е. П., Истомина О. Н. Оценка качества сортообразцов гороха на заключительном этапе селекционного процесса. Зернобобовые и крупяные культуры. 2017;(3(23)):39-43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29924505>
7. Филатова И. А. Итоги работы по изучению и выделению генотипов гороха, обладающих основными хозяйственно ценными признаками. Международный научно-исследовательский журнал. 2017;(12-3(66)):150-153. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.103>
8. Бобков С. В., Уварова О. В. Разработка оптимального метода получения изолированных белков гороха для использования в селекции на качество. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):408-416. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.408-416>
9. Бобков С. В., Уварова О. В. Накопление запасных веществ в семенах дикого и культурного гороха. Земледелие. 2021;(4):24-27. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10406>
10. Tzitzikas E. N., Vincken J. P., de Groot J., Gruppen H., Visser R. Genetic variation in pea seed globulin composition. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006;54(2):425-433. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0519008>
11. Dostalova R., Horáček J., Hasalova I., Trojan R. Study of Resistant Starch (RS) Content in Peas During Maturation. Czech Journal of Food Sciences. 2009;27(1):S120-S124. DOI: <https://doi.org/10.17221/935-CJFS>
12. Ren H., Setia R., Warkentin T. D., Ai Y. Functionality and starch digestibility of wrinkled and round pea flours of two different particle sizes. Food Chemistry. 2021;336(30):127711. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127711>
13. Носовская Л. П., Адикаева Л. В., Гольдштейн В. Г. Изучение использования инновационной низкопентозанной озимой ржи как сырья для производства крахмала и крахмалопродуктов. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(7):83-85. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10720>
14. Mir J. A., Srikaeo K., García J. Effects of amylose and resistant starch on starch digestibility of rice flours and starches. International Food Research Journal. 2013;20(3):1329-1335. URL: [http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20\(03\)%202013/43%20IFRJ%2020%20\(03\)%202013%20Srikaeo%20\(434\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20(03)%202013/43%20IFRJ%2020%20(03)%202013%20Srikaeo%20(434).pdf)
15. Shen S., Hou H., Ding C., Bing D.-J., Lu Z.-X. Protein content correlates with starch morphology, composition and physicochemical properties in field peas. Canadian Journal of Plant Science. 2016;96(3):404-412. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0231>

References

1. Talab H. A. Starch -protein extraction and separation it from green pea. European Online Journal of Natural and Social Sciences 2016;5(4):1012-1017. URL: https://www.researchgate.net/publication/351303050_Starch_-_protein_extraction_and_separation_it_from_green_pea
2. Dahl W. J., Foster L. M., Tyler R. T. Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). British Journal of Nutrition. 2012;108(S1):3 -10. DOI: DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>
3. Kornet R., Venema P., Nijse J., Linden E., Meinders M. B. J. Yellow pea aqueous fractionation increases the specific volume fraction and viscosity of its dispersions. Food Hydrocolloids. 2019;99:105332. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105332>
4. Daba S., Morris C. F. Pea proteins: Variation, composition, genetics, and functional properties. Cereal Chemistry. 2022;99:8-20. DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.10439>
5. Vasilenko A. A., Tymchuk S. M., Pozdnyakov V. V., Suprun O. V., Antsifirova O. V., Bezuglyy I. M. Content and fatty acid composition of oil in the seeds of pea starch-modifying mutants. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2017;(3(23)):33-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29924504>
6. Pshenichnaya I. A., Filatova I. A., Belyaeva E. P., Istomina O. N. Quality assessment of samples of pea varieties at the final stage of the selection process. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2017;(3(23)):39-43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29924505>

7. Filatova I. A. Results of the work on studying and distinguishing potential genotypes of peas with main economically valuable characteristics. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2017;(12-3(66)):150-153. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.103>
8. Bobkov S. V., Uvarova O. V. Development of optimal method of obtaining pea isolated proteins for use in breeding for quality. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):408-416. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.408-416>
9. Bobkov S. V., Uvarova O. V. Accumulation of storage matter in seeds of wild and cultural pea. *Zemledelie*. 2021;(4):24-27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10406>
10. Tzitzikas E. N., Vincken J. P., de Groot J., Gruppen H., Visser R. Genetic variation in pea seed globulin composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006;54(2):425-433. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0519008>
11. Dostalova R., Horáček J., Hasalova I., Trojan R. Study of Resistant Starch (RS) Content in Peas During Maturation. *Czech Journal of Food Sciences*. 2009;27(1):S120-S124. DOI: <https://doi.org/10.17221/935-CJFS>
12. Ren H., Setia R., Warkentin T. D., Ai Y. Functionality and starch digestibility of wrinkled and round pea flours of two different particle sizes. *Food Chemistry*. 2021;336(30):127711. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127711>
13. Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V., Gol'dshteyn V. G. Use of innovative winter rye with a low content of pentosans as a raw material for the production of starch and starch products. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(7):83-85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10720>
14. Mir J. A., Srikaeo K., García J. Effects of amylose and resistant starch on starch digestibility of rice flours and starches. *International Food Research Journal*. 2013;20(3):1329-1335. URL: [http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20\(03\)%202013/43%20IFRJ%2020%20\(03\)%202013%20Srikaeo%20\(434\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20(03)%202013/43%20IFRJ%2020%20(03)%202013%20Srikaeo%20(434).pdf)
15. Shen S., Hou H., Ding C., Bing D.-J., Lu Z.-X. Protein content correlates with starch morphology, composition and physicochemical properties in field peas. *Canadian Journal of Plant Science*. 2016;96(3):404-412. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0231>

Сведения об авторах

✉ **Гольдштейн Владимир Георгиевич**, кандидат техн. наук, зав. отделом, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, д. п. Красково, г. о Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>, e-mail: 6919486@mail.ru

Носовская Лилия Петровна, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, д. п. Красково, г. о Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0973-0408>

Адикаева Лариса Владимировна, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, д. п. Красково, г. о Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3858-9071>

Коваленок Владимир Александрович, доктор техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, д. п. Красково, г. о Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1742-7695>

Information about the authors

✉ **Vladimir G. Goldstein**, PhD in Engineering, leading researcher, Head of the Department, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – branch of Russian Potato Research Centre, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>, e-mail: 6919486@mail.ru

Lilia P. Nosovskaya, senior researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – branch of Russian Potato Research Centre, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0973-0408>

Larisa V. Adikaeva, researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – branch of Russian Potato Research Centre, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3858-9071>

Vladimir A. Kovalenok, DSc in Engineering, professor, leading researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – branch of Russian Potato Research Centre, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1742-7695>

✉ – Для контактов / Corresponding author

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.515-526>
УДК 579.87



Актинобиота корней *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin как потенциальный источник микробиологических препаратов для растениеводства

© 2022. И. Г. Широких¹✉, Я. И. Назарова¹, А.В. Бакулина¹, И. А. Остерман^{2,3}, А. Р. Белик³, Ю. А. Буюклян³, Н. А. Боков¹, А. А. Широких¹

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

²АНООВО «Сколковский институт науки и технологий», г. Москва, Российская Федерация

³Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, Краснодарский край, г. Сочи, Российская Федерация

В работе определена численность и структура комплексов актиномицетов, ассоциированных с корнями лекарственного растения – левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin) при длительном возделывании на дерново-подзолистой почве. Общая численность актиномицетов в ризосфере изменялась в пределах $(4,4-13,2) \times 10^5$ КОЕ/г почвы, а в ризоплане – в пределах $(7,6-24,1) \times 10^3$ КОЕ/г корней. Комплекс мицелиальных прокариот представлен родами *Streptomyces*, *Microthopospora*, *Streptosporangium*, *Streptovercillium* и олигоспоровыми формами. Стрептомицеты доминировали как в ризосфере, так и в ризоплане левзеи сафлоровидной. Из этих микрококсов с помощью селективных приемов выделено 30 культур мицелиальных прокариот. Исследованы культурально-морфологические и физиолого-биохимические свойства изолятов. Высокопроизводительный скрининг, проведенный с помощью двойной репортерной системы, выявил среди 19 изолятов, ассоциированных с корнями левзеи, способность продуцировать ингибиторы синтеза белка у четырех (21 %) культур стрептомицетов. ПЦР-детекция генов поликетидсинтаз типа II не выявила среди ассоциированных с левзеей стрептомицетов их носителей. Значительная доля (67 %) изолятов стрептомицетов из ризосферы и ризопланы левзеи обладала умеренной и высокой целлюлазной активностью. Установлено, что большинство (92 %) стрептомицетов в комплексе ризопланы продуцируют индольные соединения (ИУК) в количестве $40 \pm 16,1$ мкг/мл, до 61 % изолятов способны к синтезу водорастворимых метаболитов антифунгального действия. Выявлены новые перспективные для дальнейшего изучения штаммы стрептомицетов-антагонистов фитопатогенных грибов, целлюлолитиков и продуцентов ауксинов.

Ключевые слова: левзея сафлоровидная, стрептомицеты, антибиотическая активность, ауксины, деструкция целлюлозы, утилизация сахаров

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0005).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Широких И. Г., Назарова Я. И., Бакулина А. В., Остерман И. А., Белик А. Р., Буюклян Ю. А., Боков Н. А., Широких А. А. Актинобиота корней *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin как потенциальный источник микробиологических препаратов для растениеводства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):515-526.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.515-526>

Поступила: 11.05.2022

Принята к публикации: 01.08.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Actinobiota of *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin roots as potential source of microbiological preparations for cropping

© 2022. Irina G. Shirokikh¹✉, Yanina I. Nazarova¹, Anna V. Bakulina¹, Ilya A. Osterman^{2, 3}, Albina R. Belik³, Julia A. Buiuklian³, Nikita A. Bokov¹, Alexander A. Shirokikh¹

¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

²Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russian Federation

³Sirius University, Scientific Center of Genetics and Life Sciences, Krasnodar region, Sochi, Russian Federation

The paper determines the number and structure of actinomycete complexes associated with the roots of the medicinal plant – leuzea safflower (*Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin) during long-term cultivation on sod-podzolic soil. The total number of actinomycetes in the rhizosphere varied within $(4.4-13.2) \times 10^5$ CFU/g of soil, and in the rhizoplane – within $(7.6-24.1) \times 10^3$ CFU/g of roots. The complex of mycelial prokaryotes is represented by the genera *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Streptosporangium*, *Streptoverticillium* and oligospore forms. *Streptomyces* dominated both in the rhizosphere and in the rhizoplane of leuzea safflower. From these microlocuses, 30 cultures of mycelial prokaryotes were isolated using selective techniques. The cultural-morphological and physiological-biochemical properties of the isolates were studied. High-performance screening conducted using a dual reporter system revealed among 19 isolates associated with leuzea roots the ability to produce protein synthesis inhibitors in four (21 %) streptomycetes cultures. PCR detection of type II polyketide synthetase genes did not reveal their carriers among streptomycetes associated with leuzea. A significant proportion (67 %) of streptomycetes isolates from the rhizosphere and rhizoplane of leuzea had moderate and high cellulase activity. It has been established that the majority (92 %) of streptomycetes in the rhizoplane complex produce indole compounds (IUC) in the amount of 40 ± 16.1 mcl/ml, up to 61 % of isolates produce water-soluble metabolites of antifungal action. New strains of streptomycetes antagonists of phytopathogenic fungi, cellulolytics and auxin producers promising for further study have been identified.

Keywords: leuzea safflower, streptomycetes, antibiotic activity, auxins, cellulose destruction, sugar utilization

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0005)

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Shirokikh I. G., Nazarova Ya. I., Bakulina A. V., Osterman I. A., Belik A. R., Buiuklian Ju. A., Bokov N. A., Shirokikh A. A. Actinobiota of *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin roots as potential source of microbiological preparations for cropping. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):515-526. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.515-526>

Received: 24.03.2022

Accepted for publication: 01.08.2022

Published online: 25.08.2022

Микроорганизмы, обитающие в ризосфере растений, улучшают их снабжение элементами питания, увеличивают устойчивость к абиотическим стрессам и фитопатогенам, за что получили название PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria – ризобактерии, способствующие росту растений). Среди группы PGPR широко представлены актиномицеты, в особенности – виды рода *Streptomyces* [1, 2]. Благодаря синтезу большого количества биоактивных соединений (поликетиды, пептиды, макролиды, аминокликозиды, индолы и терпены), стрептомицеты играют особую роль в метаболизме растения-хозяина. Подобно другим колонизирующим корни ризобактериям, актиномицеты могут проникать в сосудистую систему, а затем успешно развиваться в стеблях, листьях и других органах как эндофиты.

Колонизация внутренних тканей может происходить также из других частей растения, таких как листья, цветки, почки или семена, но большинство эндофитных актиномицетов были выделены именно из корней [3]. Работами последних десятилетий было показано, что особый интерес как продуценты биологически активных соединений для медицины и сельского хозяйства представляют актиномицеты, связанные с лекарственными растениями [4, 5]. Сообщалось об увеличении всхожести семян и усилении роста *Phaseolus vulgaris* (L.) в результате применения двух штаммов *Streptomyces* sp., выделенных из распространенного в странах Юго-Восточной Азии лекарственного растения *Centella asiatica* (L.) Urb. [6]. Стимуляцию роста растений авторы связывают с продукцией эндофитными стреп-

томицетами индолил-3-уксусной кислоты (ИУК). В работе японских ученых в качестве стимуляторов роста растений с ауксиноподобной активностью рассматриваются птеридиновые кислоты А и В, синтезируемые штаммом *Streptomyces hygroscopicus*, который был выделен из папоротника (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) [7]. Актиномицеты из традиционного в арабских странах лекарственного растения *Achillea fragrantissima* (Forssk.) Sch. Bip. продуцировали хитиназы и сидерофоры, а также проявили антифунгальную активность в отношении фитопатогенов [8]. Продукция сидерофоров описана также у актиномицетов, выделенных из трех лекарственных растений Индии: *Aloe vera* (L.) BURM. F, *Mentha arvensis* (L.) и *Ocimum sanctum* (L.) [9].

Левзея сафлоровидная (*Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Pjin) – многолетнее лекарственное растение семейства сложноцветных. Из левзеи выделены фитостероиды, среди которых основная массовая доля приходится на 20-гидроксизексидон. Это соединение оказывает тонизирующие и адаптогенное действие. В традиционной медицине народов Сибири и Монголии левзея входит в состав сборов, употребляемых при болезнях легких, почек, желтухе, лихорадке и ангине [10]. Препараты левзеи сафлоровидной занесены в Государственную Фармакопею РФ [11].

Цель исследования – характеристика комплекса актиномицетов, ассоциированных с корнями левзеи сафлоровидной, и поиск среди них новых штаммов, пригодных к использованию в растениеводстве и земледелии.

Научная новизна. Ассоциативные симбиозы лекарственных растений на территории России изучены в настоящее время недостаточно. Ризосферная и эндофитная актиобиота левзеи сафлоровидной ранее не рассматривалась. Поиск новых ценных штаммов для разработки микробиологических препаратов фитостимулирующего и защитного действия, адаптированных к местным региональным условиям, проведен впервые.

Материал и методы. В работе использовали растения левзеи сафлоровидной при её длительном (в течение 12 лет) возделывании на дерново-подзолистой почве в условиях Предуралья. Численность и таксономическую структуру комплекса актиномицетов определяли в ризосфере и ризоплане растений, используя

ранее описанные подходы и приемы [12]. Анализировали пять индивидуальных образцов, каждый из которых был представлен двумя смешанными навесками, массой 2,0 г. Общую численность мицелиальных прокариотов и видовую структуру рода *Streptomyces* характеризовали на казеин-глицериновом агаре (КГА), родовую структуру комплекса актиномицетов – на среде с пропионатом натрия [13]. Из стрептомицетных колоний разных морфотипов, вырастающих на КГА при посеве из разведений почвенных суспензий и корневых гомогенатов, выделяли чистые культуры.

Для характеристики функциональной структуры комплекса у изолятов рода *Streptomyces* определяли спектр утилизации различных источников углерода на среде ISP 9 [14], антибиотическую активность – методом диффузии в агар. Параллельно в НИИ физико-химической биологии имени А. Н. Белозерского МГУ (г. Москва) проводили высокопроизводительный скрининг штаммов, способных ингибировать синтез белка и вызывать SOS-ответ, с помощью двойной репортерной системы на основе штамма *Escherichia coli dtolC BW25113*, содержащего репортерную конструкцию, закодированную на плазмиде pDualrep2 (PMID 27736765). Принцип работы репортера заключается в том, что соединения, ингибирующие трансляцию, опосредованно приводят к экспрессии дальне-красного флуоресцентного белка Katushka2S, что сопровождается красным свечением. Соединения, повреждающие ДНК, индуцируют SOS-ответ в клетке, что запускает экспрессию красного флуоресцентного белка (RFP) и вызывает свечение зеленого цвета [15].

Для выявления антибиотически активных штаммов стрептомицеты выращивали в течение 10 сут при 20 ± 2 °C на качалке (120 об/мин) в жидкой среде следующего состава (г/л): глюкоза – 10,0; пептон – 6,2; дрожжевой экстракт – 2,0; гидролизат казеина – 2,0; NaCl – 2,75; KNO₃ – 0,06; Na₂CO₃ – 0,7; Na₂S₂O₃ – 0,2. Исходное значение pH устанавливали равным 8,0. Культуральную жидкость (КЖ) освобождали от клеток центрифугированием при 13000 об./мин в течение 12 мин.

Ночную культуру *E. coli dtolC BW2511* разбавляли в десять раз свежей средой LB и выливали в чашки с агаризованной средой LB и канамицином (50 мкг/мл). После высыхания

жидкости на поверхности агара в среде проде- лывали лунки диаметром 8 мм, в которые вно- сили по 100 мкл исследуемого образца – КЖ каждого из изолятов. После культивирования в течение 18 часов при температуре 37 °С чашки сканировали с помощью системы гель-доку- ментирования ChemiDoc (Bio-Rad) в каналах Cy3 (для детекции RFP) и Cy5 (для детекции Katushka2S).

Для ПЦР-детекции генов поликетидсин- тетаз типа II (PKS II) у стрептомицетных изо- лятов выделение ДНК проводили из мицелия (100 мг) культур, выращенных на овсяном агаре, с помощью набора «ПРОБА-ЦТАБ» («НПО ДНК-Технология», Россия). Концен- трацию ДНК в полученных препаратах оцени- вали, измеряя поглощение света при длине волны 260 нм на спектрофотометре UNICO 2802(S) (США).

Для выявления генов, кодирующих PKS типа II, использовали пару праймеров: f GC(C\G)TGCTTCGA(C\T)GC(C\G)ATC, r CAT (C\G)GA(C\T)TTGAT(G\C)GAGCTGA (длина ампликона 414 п.н.), синтезированные компа- нией «Синтол» (Россия). Реакцию проводили на программируемом термоциклере «Терцик» («НПО ДНК-Технология», Россия). Реакционная смесь (25 мкл) содержала 1 нг ДНК, 0,1 mM dNTPs, 0,2 мкМ каждого праймера, 1×PCR- буфер и 1 ед. Taq-полимеразы (СибЭнзим, Россия). ПЦР проводили в следующем режиме: 1 цикл 94 °С – 5 мин; 30 циклов – 94 °С – 1 мин, 56 °С – 1 мин, 72 °С – 1 мин; конечная элонгация 72 °С – 5 мин. Продукты ампли- фикации разделяли электрофорезом в 1%-ном агарозном геле. Для определения длины полу- ченных ампликонов использовали маркер DNA Ladder (СибЭнзим, Россия). Визуализацию результатов электрофореза проводили с помощью трансиллюминатора «Квант-312» (Helicon, Россия).

Способность изолятов продуцировать ауксины определяли в культуральной жидкости с реактивом Сальковского [16]. Бактерии выращивали в жидкой среде, содержащей (г/л): глюкоза – 2; сахароза – 2; пептон – 1; дрожжевой экстракт – 1; K₂HPO₄ – 0,5; NaCl – 0,1; MgSO₄ – 0,2; KNO₃ – 0,75; CaCl₂ – 0,02; FeCl₃ – 0,01; Na₂MoO₄ – 0,002; pH 6,8-7,2. В качестве предшественника индольных соединений в среду добавляли DL-триптофан

(«ДИАЭМ», США) в количестве 0,2 и 2,0 г/л. Инкубировали на качалке (180 об/мин) в течение 4 сут. Культуральную жидкость от клеток освобождали центрифугированием при 6000 g в течение 10 мин. Количество ИУК определяли на фотоэлектроколориметре (ФЭК 56М, Россия) при длине волны 540 нм. Для построения калибровочного графика использовали разведения стандартного рас- твора ИУК (Fluca, Швейцария). Контролем служила неинокулированная среда с добав- лением реактива.

Целлюлазную активность оценивали на среде Гетчинсона с карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) согласно [17]. Учитывая, что продукты деструкции целлюлозы не окрашиваются красителем, о целлюлазной активности судили по величине светлой зоны около тестируемого микроорганизма.

Статистическую обработку данных про- водили стандартными методами с использо- ванием программы Excel 5.

Результаты и их обсуждение. Общая численность актиномицетов в ризосфере левзеи сафлоровидной изменялась в пределах (4,4-13,2)×10⁵ колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г почвы, а в ризоплане – в пределах (7,6-24,1)×10³ КОЕ/г корней. Комплекс ассо- циированных с левзеей мицелиальных прока- риот представлен родами *Streptomyces*, *Micro- monospora*, *Streptosporangium*, *Streptoverti- cillium* и олигоспоровыми формами. Между ризосферой и ризопланой в таксономической структуре комплекса выявлены незначи- тельные различия в доле соотношении пред- ставителей родов *Streptosporangium* и *Streptoverticillium* (рис. 1). Стрептомицеты доми- нировали как в ризосфере (46 %), так и в ризоплане (44 %) растений, на основании чего были выделены в чистые культуры для дальнейшего изучения.

Исследование культуральных и морфо- логических свойств изолятов показало, что на корнях наблюдается более высокое разно- образие стрептомицетов, чем в почве (табл.). Так, все выделенные из ризосферы штаммы были отнесены к четырем цветовым сериям одной секции *Cinereus*, тогда как изоляты из корней левзеи распределились между семью сериями трех секций (*Cinereus*, *Albus* и *Helvolo-Flavus*) рода *Streptomyces* [14].

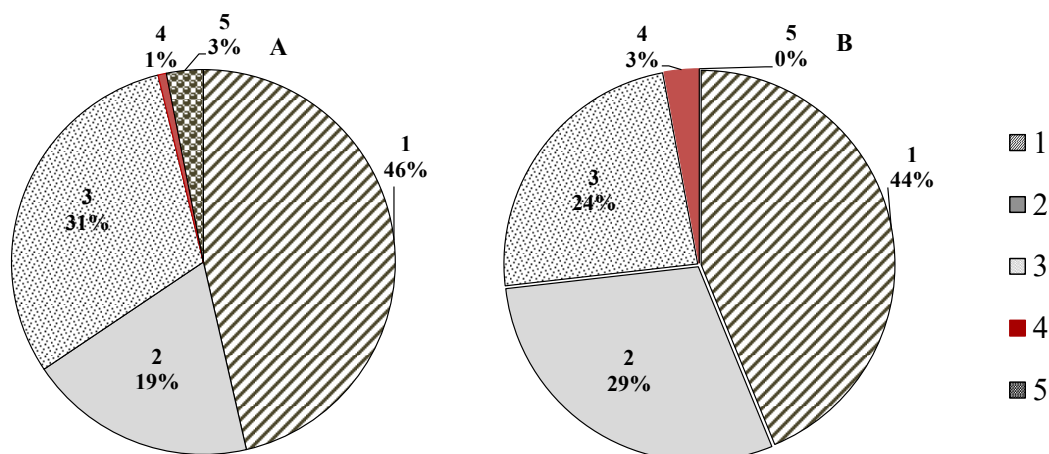


Рис. 1. Долевое соотношение в актиномицетном комплексе левзеи сафлоровидной представителей родов: *Streptomyces* – 1, *Micromonospora* – 2, олигоспоровых форм – 3; *Streptosporangium* – 4, *Streptoverticillium* – 5. А – ризосфера, В – ризоплана /

Fig. 1. The proportion in the actinomycete complex of leuzea safflower representatives of genera: *Streptomyces* – 1, *Micromonospora* – 2, oligosporous forms – 3; *Streptosporangium* – 4, *Streptoverticillium* – 5. A – rhizosphere, B – rhizoplane

Таблица – Культуральные и морфологические свойства бактерий рода *Streptomyces*, ассоциированных с корнями левзеи сафлоровидной /

Table – Cultural and morphological properties of bacteria of the genus *Streptomyces* associated with the roots of leuzea safflower

Штамм / Strain	Цвет / Colour			Цепочка спор / Spore chain	Секция, серия / Section, series
	BM / AM	CM / SM	ПП / RP		
1	2	3	4	5	6
Ризосферная почва / Rhizospheric soil					
2Ls1	Серый / Gray	Серо-зеленый / Gray-green	Нет / No	RF	Cinereus Chrysomallus
2Ls4	Серый / Gray	Бесцветный / Colorless		S	Cinereus Achromogenes
2Ls6	Серый / Gray	Бесцветный до зеленовато- серого / Colorless to greenish-gray		RF	
2Ls7	Светло-серый / Light gray	Бурый до черного / Brown to black	Желтовато- бурый / Yellowish- brown	S	Cinereus Chromogenes
2 Ls8	Темно-серый / Dark gray	Буро-зеленый до черного / Brown-green to black		RF/RA	
2 Ls9	Темно-серый / Dark gray	Бледно-желтый / Pale yellow	Нет / No	RF	Cinereus Aureus
2 Ls10	Светло-серый, мучнистый / Light gray, powdery	Бесцветный / Colorless		RF	Cinereus Achromogenes
2 Ls11	Серый до темно-серого, порошистый / Gray to dark gray, powdery			RF	
2 Ls12	Буровато-серый / Brownish gray	Бесцветный до сероватого / Colorless to grayish		RF/RA	
2 Ls13	Серый, мучнистый / Gray, powdery	Бесцветный / Colorless		RF	
2 Ls14	Темно-серый / Dark gray			RF	
4Ls1	Темно-серый / Dark gray	Желто-зеленый / Yellow-green		RF	Cinereus Aureus
4Ls2	Светло-серый / Light gray	Желтый / Yellow	RF		

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
4Ls3	Светло-серый / Light gray	Буровато-розовый / Brownish pink	Розово- фиолетовый / Pink-purple	RF	Cinereus Violaceus
4Ls5	От белого до светло-серого / From white to light gray	Желтый / Yellow	Нет / No	RF	Cinereus Aureus
4Ls7	Серый / Gray	Бесцветный / Colorless		RF	Cinereus Achromogenes
4Ls8	Светло-серый мучинистый / Light gray, powdery	Буровато-розовый / Brownish pink	Фиолетово- бурый / Purple-brown	RF	Cinereus Violaceus
4Ls10	Серый с белыми пятнами / Gray with white spots	Бесцветный / Colorless	Нет / No	RF	Cinereus Achromogenes
4Ls11	Серый / Gray	Зеленовато-серый / Greenish-gray		RF	Cinereus Chrysomallus
4Ls12	Кремовый, скудный / Creamy, sparse	Фиолетово-бурый / Purple-brown	Розово- фиолетовый / Pink-purple	RF	Albus Albocoloratus
4Ls13	Палево-желтый, скудный / Pale yellow, sparse	Буровато-розовый / Brownish pink	Нет / No	RF	Helvolo-Flavus Helvolus
4Ls14	Серый / Gray	Бесцветный до зелено-желтого / Colorless to green-yellow		RF	Cinereus Aureus
4Ls15	Темно-серый с беловатыми пятнами / Dark gray with whitish spots	Бесцветный / Colorless	Желтовато- бурый / Yello- wish-brown	RF	Cinereus Chromogenes
4Ls16	Серый, скудный / Gray, sparse	Желто-зеленый / Yellow-green	Нет / No	RF	Cinereus Aureus
4Ls17	Розовато-серый / Pinkish gray	Светло-серый до бурого / Light gray to brown		S	Cinereus Chromogenes
4Ls18	Серый со светло-серыми пятнами / Gray with light gray spots	Бесцветный до сери-желтого / Colorless to gray-yellow		RF	Cinereus Aureus
4Ls19	Серый / Gray	Бесцветный до желтоватого / Colorless to yellowish		RF	Cinereus Achromogenes
4Ls20	Серый, скудный / Gray, sparse	Зеленовато-желтый / Greenish-yellow		RF	Cinereus Aureus
4Ls21	Кремовый, мучнистый / Creamy, powdery	Бесцветный до зеленовато-серого / Colorless to greenish-gray		RF	Helvolo-Flavus Helvolus
4Ls22	Кремовый, мучнистый / Creamy, powdery	Бесцветный до зеленовато-серого / Colorless to greenish-gray		RF	Helvolo-Flavus Helvolus

Примечания: BM – воздушный мицелий; CM – субстратный мицелий; РП – растворимый пигмент.

Цепочки спор: RF – прямые, RA – извитые, S – спиральные /

Notes: VM – air mycelium; SM – substrate mycelium; RP – soluble pigment. Spore chains: RF – straight, RA – twisted, S – spiral

Проверка изолятов на способность к утилизации различных источников углерода показала, что ассоциированные с корнями левзеи сафлоровидной стрептомицеты могут метаболизировать широкий спектр сахаров, целлюлозу и маннит (рис. 2).

В микролокусах ризосферы и ризопланы частота встречаемости культур, способных утилизировать тот или иной источник, различалась. Так, все изоляты из ризосферы левзеи

усваивали глюкозу, маннит и рамнозу (частота встречаемости 100 %), а в ризоплане изоляты, усваивающие маннит и рамнозу, встречались с частотой 85 %, но все культуры, наряду с глюкозой, утилизировали ксилозу (100 %). Значительные различия между комплексами ризосферы и ризопланы наблюдали в отношении потребления стрептомицетами фруктозы и целлюлозы. Среди ризосферных изолятов чаще встречались утилизирующие фруктозу

(75 %) и реже – целлюлозу (25 %), чем среди изолятов, выделенных из ризопланы (69 и 53,8 % соответственно). Разница в спектрах утилизации углеродных субстратов свидетельствует

о специфичности физиологической структуры комплексов стрептомицетов в зависимости от микролокуса.

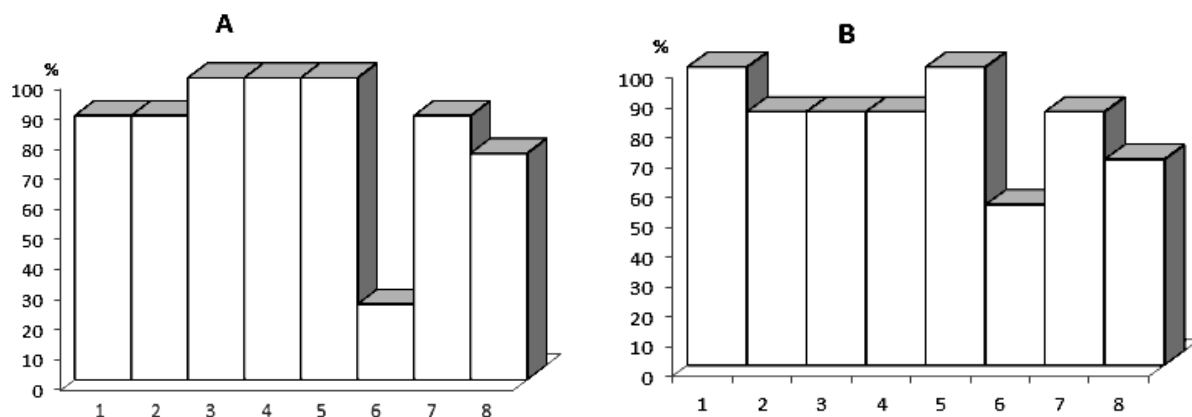


Рис. 2. Частота встречаемости штаммов, утилизирующих различные источники углерода: 1 – ксилозу; 2 – арабинозу; 3 – рамнозу; 4 – маннит; 5 – глюкозу; 6 – целлюлозу; 7 – лактозу; 8 – фруктозу. А – ризосфера, В – ризоплана /

Fig. 2. Frequency of occurrence of strains utilizing various carbon sources: 1 – xylose; 2 – arabinose; 3 – rhamnose; 4 – mannitol; 5 – glucose; 6 – cellulose; 7 – lactose; 8 – fructose. A – rhizosphere, B – rhizoplane

Определение антибиотической активности методом диффузии в агар выявило в стрептомицетных комплексах ризосферы и ризопланы соответственно 2 и 4 культуры, ингибирующие рост грамположительных тест-бактерий *Clavibacter michiganensis* и *Bacillus aryabhattai*. К грамотрицательным тест-бактериям *Curtophaga flaccumfaciens*, *Erwinia rhapsodica*, *Pseudomonas cepacea* и *Pedobacter agri* ни один из протестированных штаммов не проявил ингибирующего действия.

Антифунгальной активностью, в той или иной степени, обладали все ассоциированные с левзеей культуры стрептомицетов. В зависи-

мости от величины зон ингибирования роста тест-культур, штаммы разделили на группы с низкой, средней и высокой активностью. Суммарная частота встречаемости изолятов со средней и высокой активностью в комплексах ризосферы и ризопланы левзеи зависела от тест-культуры микромицета (рис. 3). Так, в ризосферном комплексе чаще, чем в ризоплане, отмечены стрептомицеты, подавляющие рост фузариозных грибов *F. Avenaceum* и *F. oxysporum*, а антагонисты меланизированных грибов *Alternaria* sp. и *B. Sorokiniana* с большей частотой встречались в стрептомицетном комплексе ризопланы.

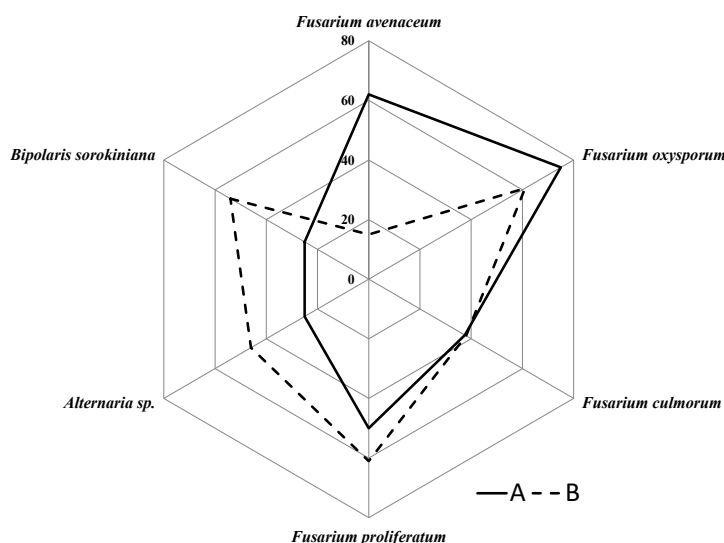


Рис. 3. Суммарная частота встречаемости стрептомицетов со средней и высокой активностью подавления фитопатогенных грибов в ризосфере (А) и ризоплане (В) левзеи сафлоровидной /

Fig. 3. The total frequency of streptomycetes with medium and high activity of suppression of phytopathogenic fungi in the rhizosphere (A) and rhizoplane (B) of leuzea safflower

Наиболее высокой антифунгальной активностью отличался выделенный из ризопланы штамм *Streptomyces* sp. 4Ls13, который с высокой активностью подавлял рост микромицетов *Fusarium avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. proliferatum*, *Alternaria* sp., *Bipolaris sorokiniana*, в средней степени – *F. culmorum*. Проведение скрининга с помощью двойной репортерной системы выявило у этого штамма способность к индукции белка Katushka2s, что указывает на повреждение синтеза белка. Штамм *Streptomyces* sp. 4Ls13 относится к серии Helvolo-Flavus Helvolus, отдельные представители которой продуцируют антибиотики преимущественно пептидной природы [14].

Синтез стрептомицетами антибиотиков обычно происходит с участием больших мультиферментных комплексов, включающих поликетидсинтазы (PKS), нерибосомные пептидсинтазы (NRPS) или их комбинации. Благодаря их активности, осуществляются различные химические модификации, что обеспечивает представителям рода *Streptomyces* производство широкого спектра антибиотиков [18, 19]. Секвенирование генома модельного штамма-продуцента (*Streptomyces coelicolor* A3(2)) показало, что в его геноме закодирован потенциал для синтеза на порядок большего количества антибиотиков, чем производит данный штамм в лабораторных условиях [20]. Это означает, что у микроорганизмов, наряду с функционирующими генами, существуют и другие генные кластеры, которые не всегда экспрессируются и потому известны как «кластеры молчащих биосинтетических генов» [21]. О биосинтетическом потенциале штамма можно узнать посредством обнаружения

этих генов с использованием специфических праймеров [22].

Биосинтетический потенциал стрептомицетов, ассоциированных с корнями левзеи сафлоровидной, оценивали с помощью ПЦР-детекции генов поликетидсинтаз типа II (PKS II), которые ответственны за продукцию ароматических поликетидов. К ним относятся широко используемые в медицинской практике тетрациклины, антрациклины, ангуциклины, антибиотики группы ауреоловой кислоты, тетра-ценомицины и другие группы соединений, имеющие в составе полифенольные и бензохиноновые структуры [23]. В результате ПЦР со специфичными к генам PKS II праймерами в образцах ДНК не выявлено целевых ампликонов длиной 414 п.н. и соответственно положительных по этому признаку культур стрептомицетов (рис. 4). Вместе с тем у ряда ассоциированных с левзеей штаммов *Streptomyces* sp. 4Ls5, 2Ls9, 2Ls3, 4Ls7, 4Ls10, 4Ls3 и 2Ls1 отмечено наличие неспецифических продуктов реакции, что указывает на необходимость их дальнейшего изучения. Доля таких культур в исследованной выборке из 19 штаммов составила 36,8 %. Отсутствие положительных изолятов, имеющих гены PKS II, не противоречит обнаружению среди стрептомицетов, ассоциированных с левзеей, штаммов с биоцидными свойствами, поскольку синтез антибиотиков может быть связан с другими генетическими системами: PKS типа I и PKS типа III и/или NRPS. Кроме того, в ряде работ отмечено отсутствие прямой корреляции между противомикробной активностью и обнаружением у стрептомицетов функциональных генов [24, 25].

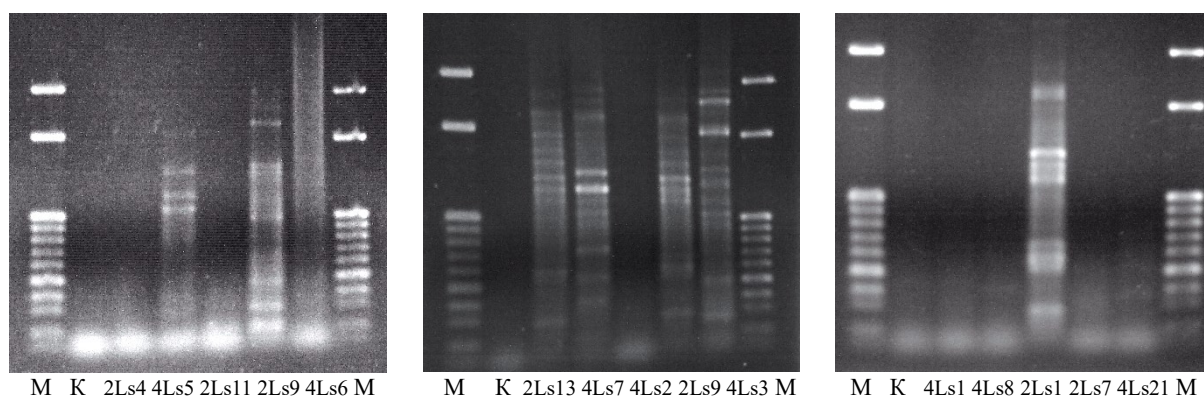


Рис. 4. Электрофореграммы образцов ДНК стрептомицетов после амплификации с праймерами к генам PKS II. Дорожки: М – маркеры молекулярной массы; К – отрицательный контроль; далее – образцы /

Fig. 4. Electrophoregrams of streptomyces DNA samples after amplification with primers to PKS II genes. Tracks: M – markers of molecular weight; K – negative control; then – samples

Важным условием ассоциативного взаимодействия PGPR с растениями является синтез ауксинов, которые играют жизненно важную роль в стимуляции роста и развития растений, регулируют деление клеток, их дифференциацию, влияют на фотосинтез, устойчивость к стрессам [26]. При культивировании в среде с добавлением 2 г/л триптофана практически все исследуемые изоляты продуцировали индолил-3-уксусную кислоту (ИУК) – наиболее распространенный и активный в группе ауксинов фитогормон, широко применяемый в практике растениеводства.

Изоляты из ризопланы левзеи в среднем продуцировали ИУК в больших количествах ($40,20 \pm 16,18$ мкг/мл), чем изоляты из ризосферы ($16,90 \pm 5,75$ мкг/мл). Высокой продукцией ИУК ($48,0-83,6$ мкг/мл) в комплексе ризопланы характеризовалась почти треть (31 %) штаммов, тогда как в стрептомицетном комплексе ризосферы абсолютное большинство изолятов (87,5 %) имело низкую способность к биосинтезу ауксинов, продуцентов ИУК с высокой активностью не выявлено, а умеренную активность проявили лишь 12,5 % изолятов (рис. 5).

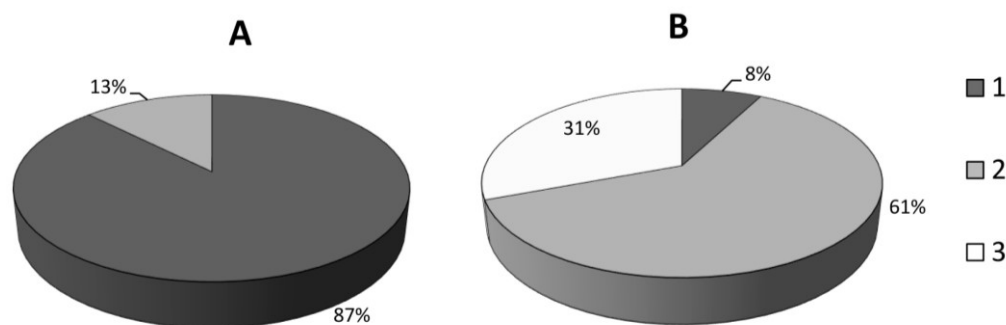


Рис. 5. Долевое соотношение штаммов-ассоциантов левзеи сафлоровидной с различной способностью к продукции ауксинов: 1 – низкая (до 20 мкг/мл); 2 – умеренная (от 21 до 45 мкг/мл); 3 – высокая (более 45 мкг/мл). А – ризосфера, В – ризоплана /

Fig. 5. The proportion of associated strains of leuzea safflower with different ability to produce auxins: 1 – low (up to 20 mcg/ml); 2 – moderate (from 21 to 45 mcg/ml); 3 – high (more than 45 mcg/ml). А – rhizosphere, В – rhizoplane

В среде с пониженным до 0,2 г/л содержанием триптофана наиболее активные штаммы *Streptomyces* sp. 4Ls13, 4Ls16, 4Ls7 и 4Ls5 обеспечили биосинтез ИУК на уровне $19,60 \pm 0,40$, $21,50 \pm 2,49$, $20,40 \pm 2,61$ и $17,60 \pm 2,30$ мкг/мл соответственно.

Экологические функции актиномицетов в природе связаны с разложением трудногидролизуемых биополимеров, значительная доля которых представлена целлюлозой. Целлюлолитическую активность ассоциированных

с левзеей стрептомицетов определяли в тесте с конго красным. В зависимости от величины зоны деструкции КМЦ, изоляты объединяли в группы со слабой (тест-зона не более 20 мм), умеренной (тест-зона изменяется от 21 до 34 мм) и сильной (тест-зона не менее 35 мм) активностью. Стрептомицетные комплексы ризосферы и ризопланы по долевого участию представителей каждой из групп различались незначительно (рис. 6).

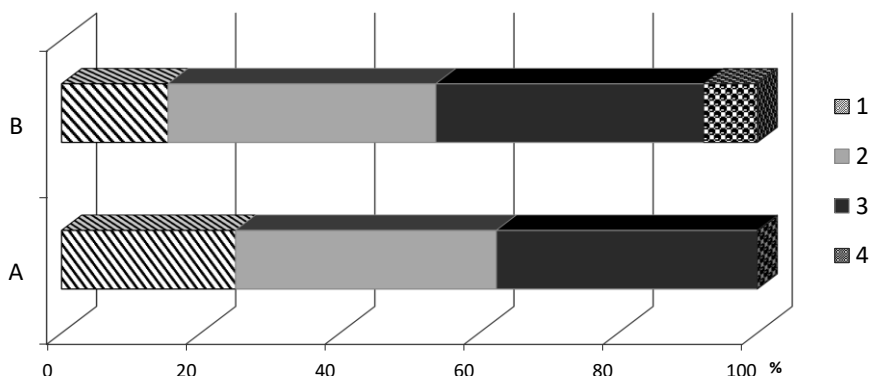


Рис. 6. Долевое соотношение в ризосфере (А) и ризоплане (В) левзеи сафлоровидной стрептомицетов со слабой – 1, умеренной – 2, сильной целлюлолитической активностью – 3 и неактивных – 4 /

Fig. 6. The proportion in the rhizosphere (A) and rhizoplane (B) of the leuzea safflower streptomyces with weak – 1, moderate – 2, strong cellulolytic activity – 3 and inactive – 4

Абсолютное большинство изолятов из обоих микролокусов (по 76 %) проявили умеренную и сильную активность в деструкции КМЦ. Слабой целлюлолитической способностью характеризовались 25 % штаммов, выделенных из ризосферы, и 15,3 % изолятов из ризопланы. Лишь один изолят *Streptomyces* sp. 4Ls13, выделившийся при скрининге продуцентов антифунгальных соединений и ауксинов, дал отрицательный результат в тесте с конго красным.

Заключение. Таким образом, комплекс стрептомицетов, связанных с левзеей сафлоровидной, представляет собой ценный ресурс для получения новых микробных источников биоактивных природных веществ: ауксинов, антифунгальных соединений, ферментов целлюлазного комплекса. Показано, что среди изолятов из ризопланы левзеи чаще, чем среди ризосферных изолятов, встречаются активные продуценты ИУК и антагонисты меланизированных грибов *Alternaria* sp. и *Bipolaris sorokiniana*. Актинобиота корней левзеи сафлоровидной отличается высокой представлен-

ностью целлюлолитически активных стрептомицетов. Выявлены перспективные для химического изучения образуемых антибиотиков штаммы *Streptomyces* sp. 4Ls13, 4Ls1, 2Ls9, 2Ls13, ферментов целлюлазного комплекса – *Streptomyces* sp. 2Ls1, 2Ls4, 2Ls14, 4Ls11, 4Ls19, индольных соединений – *Streptomyces* sp. 4Ls13, 4Ls16, 4Ls7 и 4Ls5, которые могут найти практическое применение в связи с созданием биопрепаратов для стимуляции роста и защиты растений. Очевидно, процесс разработки и внедрения биопрепаратов в сельскохозяйственное производство потребует проведения широкого спектра дополнительных исследований, направленных на решение генно-молекулярных, физиолого-биохимических и технологических задач. Вместе с тем полученные результаты стимулируют интерес к дальнейшему изучению микробиоты, ассоциированной с лекарственными растениями, для лучшего понимания тех возможностей, которые открывает углубленный анализ микробиома в этой специфической экологической нише.

References

1. Hamed J., Mohammadipanah F. Biotechnological application and taxonomical distribution of plant growth promoting actinobacteria. Journal of industrial microbiology & biotechnology. 2015;42(2):157-171. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10295-014-1537-x>
2. Schmidt T. M. Encyclopedia of Microbiology. Academic Press, 2019. pp. 334-345. URL: <https://books.google.ru/books?hl=ru&lr=&id=7fvDDwAAQBAJ&oi>
3. Miliute O., Buzaite D., Baniulis V. Stanys Bacterial endophytes in agricultural crops and their role in stress tolerance: a review. Zemdirbyste-Agriculture. 2015;102(4):465-478. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2015.102.060>
4. Wardecki T., Brötz E., De Ford C., von Loewenich F. D., Rebets Y., Tokovenko B., Merfort I. Endophytic Streptomyces in the traditional medicinal plant *Arnica montana* L.: secondary metabolites and biological activity. Antonie van Leeuwenhoek. 2015;108(2):391-402. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10482-015-0492-5>
5. Nalini M. S., Prakash H. S. Diversity and bioprospecting of actinomycete endophytes from the medicinal plants. Letters in applied microbiology. 2017;64(4):261-270. DOI: <https://doi.org/10.1111/lam.12718>
6. Dochhil H., Dkhar M. S., Barman D. Seed germination enhancing activity of endophytic Streptomyces isolated from indigenous ethno-medicinal plant *Centella asiatica*. Int J Pharm Biol Sci. 2013;4(1):256-262.
7. Igarashi Y. Screening of novel bioactive compounds from plant-associated actinomycetes. Actinomycetolog. 2004;18:63-66. DOI: https://doi.org/10.3209/saj.18_63
8. El-Shatoury S., El-Krally O., El-Kazzaz W., Dewedar A. Antimicrobial activities of Actinomycetes inhabiting *Achillea fragrantissima* (Family: Compositae). Egypt J Nat Toxins. 2009;6(2):1-15. URL: https://www.academia.edu/894923/ANTIMICROBIAL_ACTIVITIES_OF_ACTINOMYCETES_INHABITING_ACHILLEA_FRAGRANTISSIMA_FAMILY_COMPOSITAE
9. Gangwar M., Dogra S., Gupta U. P., Kharwar R. N. Diversity and biopotential of endophytic actinomycetes from three medicinal plants in India. African J Microbiol Res. 2014;8(2):184-191. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJMR2012.2452>
10. Тимофеев Н. П. Левзея сафлоровидная: проблемы интродукции и перспективы использования в качестве биологически активных добавок. Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты. М.: РАЕН, 2001. С. 108-134. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30640821&pff=1>
- Timofeev N. P. *Leuzea carthamoides*: introduction questions and application prospects as biologically active components. *Netradiitsionnye prirodnye resursy, innovatsionnye tekhnologii i produkty*. Moscow: RAEN, 2001. pp. 108-134. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30640821&pff=1>

11. Белодубровская Г. А. Большой энциклопедический словарь лекарственных растений. Санкт-Петербург: СпецЛит, 2015. 759 с.
Belodubrovskaya G. A. Big encyclopedic dictionary of medicinal plants. Saint-Petersburg: *SpetsLit*, 2015. 759 p.
12. Широких И. Г., Назарова Я. И., Огородникова С. Ю., Баранова Е. Н. Изменение структуры комплексов актиномицетов в ризосфере трансгенных по гену Fe-COD 1 линий томата (*Solanum lycopersicum* L., SOLANACEAE, SOLANALES). Поволжский экологический журнал. 2016;(3):341-351.
DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2016-3-341-351>
- Shirokikh I.G., Nazarova Y.I., Ogorodnikova S.Yu., Baranova E.N. Changes in the structure of the rhizosphere complexes of actinomycetes of transgenic tomato (*Solanum lycopersicum* L., SOLANACEAE, SOLANALES) with the gene Fe-SOD 1. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* = Povolzhskiy Journal of Ecology. 2016;(3):341-351. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2016-3-341-351>
13. Зенова Г. М. Почвенные актиномицеты. М.: МГУ, 1992. 78 с.
Режим доступа: <https://bookree.org/reader?file=1222199>
- Zenova G. M. Soil actinomycetes. Moscow: *MGU*, 1992. 78 p. URL: <https://bookree.org/reader?file=1222199>
14. Гаузе Г. Ф. Определитель актиномицетов. Роды *Streptomyces*, *Streptoverticillium*, *Chainia*. М.: Наука, 1983. 248 с. Режим доступа: <https://www.bookvoed.ru/files/3515/10/97/91.pdf>
- Gauze G. F. Determinant of actinomycetes. Genera *Streptomyces*, *Streptoverticillium*, *Chainia*. Moscow: *Nauka*, 1983. 248 p. URL: <https://www.bookvoed.ru/files/3515/10/97/91.pdf>
15. Osterman I. A., Komarova E. S., Shiryayev D. I., Korniltsev I. A., Khven I. M., Lukyanov D. A., Tashlitsky V. N., Serebryakova M. V., Efremenkova O. V., Ivanenkov Ya. A., Bogdanov A. A., Sergiev P. V., Dontsova O. A., Sorting Out Antibiotics' Mechanisms of Action: a Double Fluorescent Protein Reporter for High-Throughput Screening of Ribosome and DNA Biosynthesis Inhibitors. *Antimicrob Agents Chemother*. 2016;60(12):7481-7489. DOI: <https://doi.org/10.1128/AAC.02117-16>
16. Libbert E., Risch H. Interactions between plants and epiphytic bacteria regarding their auxin metabolism. *Physiologia Plantarum*. 1969;22(1):51-58. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1969.tb07840.x>
17. Teather R. M., Wood P. J. Use of congo-red polysaccharide interaction in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria the bovine rumen. *Appl. Environ Microbiol*. 1982;43(4):777-780.
DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.43.4.777-780.1982>
18. Felnagle E. A., Jackson E. E., Chan Y. A., Podevels A. M., Berti A. D., McMahon M. D., Thomas M. G. Nonribosomal peptide synthetases involved in the production of medically relevant natural products. *Mol Pharm*. 2008;5(2):191-211. DOI: <https://doi.org/10.1021/mp700137g>
19. Risdian C., Mozef T., Wink J. Biosynthesis of polyketides in *Streptomyces*. *Microorganisms*. 2019;7(5):124. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7050124>
20. Bentley S. D., Chater K. F., Cerdeno-Tarraga A-M., Challis G. L., Thomson N. R. Complete genome sequence of the model actinomycete *Streptomyces coelicolor* A3(2). *Nature*. 2002;417:141-147.
DOI: <https://doi.org/10.1038/417141a>
21. Chiang Y-M., Chang S-L., Oakley B.R., Wang CCC. Recent advances in awakening silent biosynthetic gene clusters and linking orphan clusters to natural products in microorganisms. *Curr Opin Chem Biol*. 2011;15:137-143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.10.011>
22. Ayuso-Sacido A., Genilloud O. New PCR primers for the screening of NRPS and PKS-I systems in actinomycetes: detection and distribution of these biosynthetic gene sequences in major taxonomic groups. *Microb Ecol*. 2005;49(1):10-24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-004-0249-6>
23. Hertweck C., Luzhetskyy A., Rebets Y., Bechthold A. Type II polyketide synthases: Gaining a deeper insight into enzymatic teamwork. *Nat. Prod. Rep*. 2007;24:162-190. DOI: <https://doi.org/10.1039/b507395m>
24. Qin S., Li J., Chen H. H., Zhao G. Z., Zhu W. Y., Jiang C. L., Li W. J. Isolation, Diversity and antimicrobial activity of rare actinobacteria from medicinal plants of tropical rain forests in Xishuangbanna. *Appl. Environ. Microbiol*. 2009;75(19):6176-6186. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01034-09>
25. Passari A. K., Mishra V. K., Saikia R., Gupta V. K., Singh B. P. Isolation, abundance and phylogenetic affiliation of endophytic actinobacteria associated with medicinal plants and screening for their *in vitro* antimicrobial biosynthetic potential. *Front. Microbiol*. 2015;6:273. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00273>
26. Веселова С. В., Нужная Т. В., Бурханова Г. Ф., Румянцев С. Д., Касимова А. Р., Максимов И. В. Роль фитогормонов в регуляции взаимодействий между растениями и патогенами, насекомыми-вредителями, вирусами. Экобиотех: мат-лы VII Всеросс. конф. с международ. участием. Уфа: УИБ УФИЦ РАН, 2021. С. 124-128. Режим доступа: <http://ib.anrb.ru/ebt2021/ecobiotech2021.pdf>
- Veselova S. V., Nuzhnaya T. V., Burkhanova G. F., Rumyantsev S. D., Kasimova A. R., Maksimov I. V. The role of phytohormones in regulation of interactions between plants and pathogens, pests and viruses. *Ekobiotech: mat-ly VII Vseross. konf. s mezhduнарод. uchastiem*. Ufa: *UIB UFITS RAN*, 2021. pp. 124-128.
URL: <http://ib.anrb.ru/ebt2021/ecobiotech2021.pdf>

Сведения об авторах

✉ **Широких Ирина Геннадьевна**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3319-2729>, e-mail: irgenal@mail.ru,

Назарова Янина Иордановна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2945-5282>

Бакулина Анна Владимировна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией молекулярной биологии и селекции, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5171-2476>

Остерман Илья Андреевич, доктор химических наук, главный научный сотрудник, АНООВО «Сколково-ский институт науки и технологий», д.30, стр.1, Большой бульвар, г. Москва, Российская Федерация, 121205, ведущий научный сотрудник, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, д. 1, пр-кт Олимпийский, пгт Сириус, Краснодарский край, Российская Федерация, 354349, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7748-980X>

Белик Альбина Романовна, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, д. 1, пр-кт Олимпийский, пгт Сириус, Краснодарский край, Российская Федерация, 354349

Буюклян Юлия Андреевна, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, д. 1, пр-кт Олимпийский, пгт Сириус, Краснодарский край, Российская Федерация, 354349

Боков Никита Александрович, магистрант, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1000-1192>

Широких Александр Анатольевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7808-0376>

Information about the authors

✉ **Irina G. Shirokikh**, DSc in Biological Science, chief researcher, Head of the Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3319-2729>, e-mail: irgenal@mail.ru

Yanina I. Nazarova, PhD of Biological Science, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2945-5282>

Anna V. Bakulina, PhD in Biological Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5171-2476>

Ilya A. Osterman, DSc in Chemistry, chief researcher, ANOVO "Skolkovo Institute of Science and Technology", 30, p.1, Bolshoy Boulevard, Moscow, Russian Federation, 121205, leading researcher, Sirius University of Science and Technology, Scientific Center of Genetics and Life Sciences, 1, Olympic Avenue, Sirius village, Krasnodar Territory, Russian Federation, 354349, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7748-980X>

Albina Romanovna Belik, Sirius University of Science and Technology, Scientific Center of Genetics and Life Sciences, 1, Olympic Avenue, Sirius village, Krasnodar Territory, Russian Federation, 354349

Buyuklyan Yulia Andreevna, Sirius University of Science and Technology, Scientific Center of Genetics and Life Sciences, 1, Olympic Avenue, Sirius village, Krasnodar Territory, Russian Federation, 354349

Nikita A. Bokov, Master's student, laboratory researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1000-1192>

Alexander A. Shirokikh, DSc in Biological Science, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7808-0376>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537>

УДК 631.582:631.82:631.86:631.811

Влияние биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах

© 2022. Л. М. Козлова✉, Ф. А. Попов, Е. Н. Носкова, Е. В. Светлакова

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Исследования проводили в Кировской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в длительном стационарном опыте, заложенном в 1976 г. В статье приведены данные (2010-2017 гг.) по четырем парозернотравным севооборотам с различными видами паров, однолетними и многолетними бобовыми травами (25-50 %), промежуточными культурами (12,5-37,5 %). Цель исследований – сравнить влияние некоторых приемов биологизации в восьмипольных полевых севооборотах на изменение почвенного плодородия и баланс элементов питания дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Установлено, что внесение низких доз минеральных удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$) и различных видов сидеральных культур за ротацию увеличивало в пахотном слое почвы содержание подвижного фосфора (на 39-46 мг/кг). По группировке обеспеченности почв фосфором содержание этого элемента перешло в группу «высокая обеспеченность». Содержание обменного калия в почве осталось в группе обеспеченности «повышенная». В контрольном севообороте с чистым паром при минимальном поступлении питательных элементов с минеральными удобрениями и корнеотпрысковыми остатками баланс азота, фосфора и калия создавался отрицательным при интенсивности его ниже 100 %. Замена чистого пара на занятый и сидеральные, а также введение в структуру севооборота промежуточных крестоцветных культур способствовало обеспечению положительного баланса азота (250,2-484,3 кг/га) с интенсивностью 124-150 %. Используемые факторы биологизации в севооборотах благоприятствовали созданию положительного баланса фосфора (12,5-148,1 кг/га) с оптимальной интенсивностью 117-163 % и положительного баланса калия (128,9-395,8 кг/га) при интенсивности выше оптимального значения 116-148 %. Наиболее выгодным по продуктивности и обеспечению положительного баланса элементов питания является севооборот с двумя сидеральными парами и посевом в трех полях пожнивных и поукосных крестоцветных культур.

Ключевые слова: плодородие, сидеральные пары, промежуточные культуры, корнеотпрысковые остатки, баланс азота, фосфора, калия, интенсивность баланса

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2014-0025).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Влияние биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):527-537. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537>

Поступила: 16.05.2022

Принята к публикации: 22.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Influence of biological intensification on the balance of sod-podzolic soil nutrient elements in field crop rotations

© 2022. Lyudmila M. Kozlova✉, Fyodor A. Popov, Eugenia N. Noskova, Elena V. Svetlakova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The studies were carried out in the Kirov region on sod-podzolic sandy loam soil in a long-time stationary experiment established in 1976. The article provides data (2010-2017) on four fallow-grain-grass crop rotations with various types of fallows, annual and perennial legumes (25-50 %), intercrops (12.5-37.5 %). The purpose of the studies is to compare the influence of some biologization techniques in eight-field crop rotations on the change in soil fertility and the balance of nutritional elements of sod-podzolic sandy loam soil. It is found that the application of low doses of mineral fertilizers ($N_{30}P_{30}K_{30}$) and various types of green manure crops per rotation has significantly increased the content of mobile phosphorus in the arable soil layer (by 39-46 mg/kg). According to grouping the provision of soils with phosphorus, the content of this element passed into the «high provision» group. The content of exchangeable potassium in the soil remained in the «increased» provision group. In the control crop rotation with clean fallow at a minimum supply of nutrients with mineral fertilizers and root-stubble residues, the balance of nitrogen, phosphorus and potassium was created negative at the intensity of less than 100 %.

The replacement of clean fallow for cropped and green manure fallows, as well as the introduction of intermediate cruciferous crops into the crop rotation structure contributed to the positive balance of nitrogen (250.2-484.3 kg/ha) with the intensity of 124-150 %. The biologization factors used in crop rotations favored the creation of a positive phosphorus balance (12.5-148.1 kg/ha) with the optimal intensity of 117-163 % and a positive potassium balance (128.9-395.8 kg/ha) with the intensity above the optimal value of 116-148 %. The most advantageous in terms of productivity and ensuring a positive balance of nutritional elements is crop rotation with two green manure fallows and sowing of stubble and hay cruciferous crops in three fields.

Keywords: fertility; green manure fallows; intercrops; root-stubble residues; balance of nitrogen, phosphorus, potassium; balance intensity

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, (theme No. 0767-2014-0025).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Influence of biological intensification on the balance of sod-podzolic soil nutrient elements in field crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):527-537. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537>

Received: 16.05.2022

Accepted for publication: 22.07.2022

Published online: 25.08.2022

В сложных экономических условиях, когда использование минеральных и органических удобрений крайне ограничено, сократилось применение других средств интенсификации земледелия, необходимо максимально использовать преимущества плодосмена – научно обоснованного чередования культур, предусматривающего наиболее полную реализацию адаптивно-биологического потенциала сельскохозяйственных культур, плодородия и агроэкологического ресурса почвы [1].

В рамках плодосмена вопросы воспроизводства плодородия почв и повышения устойчивости агрофитоценозов решаются, прежде всего, как вопросы биологизации и экологизации земледелия через расширение посевов многолетних и однолетних бобовых трав, зернобобовых смесей, пожнивных, поукосных и сидеральных культур, запашку корнеотпрысковых остатков, отавы многолетних трав и других приемов [2, 3].

В России в 2018 году принят Федеральный закон об органическом сельском хозяйстве (№ 280 ФЗ). Этот закон предполагает, что в технологиях возделывания культур будут широко использоваться все приемы биологизации. Данные приемы включают, в первую очередь, создание оптимальной структуры посевных площадей, введение севооборотов с максимальным насыщением различными видами органических удобрений (включая сидеральные, промежуточные посевы), применение биологических и ростостимулирующих препаратов [4, 5, 6, 7].

Биологически и экономически оправданная концепция земледелия в любых почвенно-климатических условиях должна основываться на возделывании наиболее соответ-

ствующим по биологическим особенностям культур, пользующихся спросом на рынке с учетом их влияния на плодородие почвы и состояние агрофитоценозов [8].

Однако развитие органического экологически чистого земледелия на бедных дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны может вызвать проблемы воспроизводства плодородия почвы, основой которого является обеспечение бездефицитного баланса питательных элементов [9, 10].

Основная часть урожая сельскохозяйственных культур в современном земледелии создается за счет почвенного плодородия при недостаточной компенсации выносимых с урожаем элементов питания. Вынос питательных веществ с урожаем в целом по России составляет около 10,8 млн т, что в 2,4 раза превышает уровень их возврата с растительными остатками и различными видами удобрений [11].

С 1991 по 2015 год в земледелии России дефицит NPK составил 144,5 млн т, это значит, что существенная часть урожая формировалась за счет запасов почвы. Баланс питательных элементов за эти годы складывался с отрицательными показателями: по азоту 56,3 млн т, фосфору 12,3 и калию 75,9 млн т [12]. В условиях биологической интенсификации принцип разработки системы удобрения основывается на максимально полном использовании ресурсов различных видов органических удобрений, но при этом обязательно применение минеральных удобрений, если в почву поступает недостаточное количество питательных элементов для получения планируемой урожайности и обеспечения положительного баланса азота, фосфора и калия [13].

Критерием экологической безопасности системы удобрения, ее влияния на почвенное плодородие является баланс основных элементов питания¹. Интенсивность баланса, то есть количественное соотношение прихода и расхода с единицы площади за определенный промежуток времени должно быть по азоту 100-110 %, фосфору 150-200 % и калию 100 % [14].

Цель исследований – сравнить влияние некоторых приемов биологизации в восьмипольных полевых севооборотах на изменение почвенного плодородия и баланс элементов питания дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

Научная новизна заключается в том, что при широком внедрении приемов биологи-

зации оценка состояния баланса элементов питания позволит эффективнее использовать различные виды удобрений для стабилизации почвенного плодородия и снижения возникновения рисков экологических проблем.

Материал и методы. Исследования проводили в длительном стационарном опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Опыт заложен в 1976 году на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока. На рассмотрение взяты четыре парозернотравяных восьмипольных севооборота с чистым, занятым и сидеральными парами (2010-2017 гг.).

Схемы севооборотов

I (контроль)

1. Пар чистый.
2. Озимая рожь.
3. Ячмень с подсевом клевера и тимофеевки.
4. Клевер + тимофеевка 1 г. п.
5. Клевер + тимофеевка 2 г. п.
6. Яровая пшеница.
7. Горох + яровая пшеница + овес (зернофураж).
8. Овес.

II

1. Пар занятый (редька масличная + вика + овес).
2. Озимая рожь + *горчица белая (пожнивно)*.
3. Ячмень.
4. Пелюшка + яровая пшеница + овес (зернофураж) с подсевом клевера.
5. Клевер 1 г. п.
6. Клевер 2 г. п.
7. Яровая пшеница.
8. Овес.

III

1. Пар сидеральный (люпин).
2. Озимая рожь + *редька масличная (пожнивно)*.
3. Ячмень с подсевом клевера и тимофеевки.
4. Клевер + тимофеевка 1 г. п.
5. Клевер + тимофеевка 2 г. п.
6. Яровая пшеница.
7. Горох + яровая пшеница + овес (зерносенаж) + *рапс яровой (поукосно)*.
8. Овес.

IV

1. Пар сидеральный (клевер).
2. Озимая рожь + *рапс яровой (пожнивно)*.
3. Ячмень.
4. Вика + яровая пшеница + овес (зерносенаж) + *редька масличная (поукосно)*.
5. Пар сидеральный (редька масличная + овес + пелюшка).
6. Озимая рожь + озимая вика (зеленый корм) + *горчица белая (поукосно)*.
7. Яровая пшеница.
8. Овес с подсевом клевера.

За контроль принят севооборот с чистым паром без внесения органических удобрений и посева промежуточных культур. После уборки озимой ржи на зерно и зерносмесей на зеленый корм и сенаж высевали промежуточные пожнивные и поукосные культуры (редьку масличную, горчицу белую, рапс яровой), которые использовали на сидеральные цели. Промежуточные культуры занимали в структуре севооборотов от 12,5 до 37,5 %. Многолетние травы использовали на зеленый корм, в севооборотах № 2 и № 3 их отаву запахивали на сидеральные цели.

Севообороты развернуты в пространстве и во времени. Размещение делянок систематическое, повторность 4-кратная, общая площадь делянки 77 м².

Агрохимические показатели почвы пахотного слоя следующие: рН_{сол.} 4,48-4,80, содержание подвижного фосфора – 148,0-160,0 мг/кг почвы, обменного калия – 132,0-156,0 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса – 1,98-2,00 % (по Тюрину).

В севооборотах возделывали рекомендованные для Кировской области сорта зерновых и кормовых культур. Агротехника возделывания культур традиционная для условий региона: вспашка, боронование, культивация.

¹Точное сельское хозяйство: учебно-практическое пособие. Под ред. Д. Шпаар, А. В. Захаренко, В. П. Якушев. СПб.-Пушкин, 2009. 397 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18915088>

Под промежуточные культуры применяли ресурсосберегающую (плоскорезную) обработку почвы с предпосевной культивацией. Посев ячменя после промежуточных культур проводили комбинированным агрегатом, который одновременно осуществляет обработку почвы, внесение удобрений и посев.

Минеральные удобрения вносили под все культуры, кроме многолетних трав, в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$, под посев промежуточных культур – N_{20} . Пестициды в опыте не использовали.

Исследования и расчеты баланса питательных элементов проведены на основе методик^{2,3}. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ Microsoft Excel 2007.

В приходной части баланса учитывали питательные элементы минеральных и сидеральных удобрений, промежуточных культур и корневых остатков, а также поступление азота с бобовыми многолетними и однолетними травами за счет его фиксации из воздуха в количестве 1,8 и 0,9 кг азота на 1 ц основной продукции⁴. В расходной части баланса учитывали вынос NPK с урожаем. Вынос элементов в результате водной эрозии не учитывали, т. к. опытный участок имеет ровный рельеф.

Метеорологические условия периода вегетации культур были близки к среднесезонным значениям (количество осадков 322 мм, температура воздуха 67,6 °С за май-сентябрь). В 2010, 2013 и 2016 гг. показатели температуры воздуха превысили среднесезонные значе-

ния, а в 2013 и 2016 гг. отмечался недостаток осадков, что негативно отразилось на росте и развитии культур севооборота. Для развития поукосных и пожнивных культур в годы проведения исследований погодные условия в целом были благоприятны, лишь в 2012, 2015 и 2016 гг. недостаток осадков отрицательно влиял на формирование урожая пожнивных культур. Для поукосных культур, посеянных после уборки зерносмесей на сенаж, погодные условия 2012 г. были оптимальными.

Результаты и их обсуждение. Длительные исследования в восьмипольных севооборотах показали, что баланс азота напрямую зависит от количества поступающих в почву сидеральных удобрений, массы промежуточных культур, отавы многолетних трав и корневых остатков [15].

При использовании промежуточных культур на сидеральные цели наиболее продуктивны в наших условиях редька масличная, рапс яровой, горчица белая, которые обеспечивают формирование урожайности 1,31-6,79 т/га с.в., дополнительно в почве остается 20-60 % корневых остатков от урожая надземной массы – 1,04-1,35 т/га. При использовании крестоцветных культур поукосно, т. е. после уборки зерносмесей на зеленый корм или зерносенаж, в почву поступает азота в зависимости от урожайности и условий года 18,3-95,1 кг/га (табл. 1). Если посев промежуточных культур производить после озимой ржи на зерно, то снижается их урожайность и поступление азота (9,1-36,0 кг/га).

Таблица 1 – Поступление в почву питательных элементов с сидеральными и промежуточными культурами, кг/га (2010-2017 гг.) /

Table 1 – Entry into the soil of nutrient elements with green manure and intercrops, kg/ha (2010-2017)

Культура / Crop	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Люпин узколистный – сидерат / Narrow-leaved lupin – green manure	53,1-57,0	8,1-9,0	73,8-79,5
Однолетние травы – сидерат / Annual herbs – green manure	48,0-97,0	7,1-14,4	62,2-125,8
Клевер луговой – сидерат / Meadow clover – green manure	129,2-216,3	10,6-22,8	84,2-152,8
Редька масличная – пожнивно / Oilseed radish – stubble	9,1-36,0	5,1-15,6	11,7-36,0
Редька масличная – поукосно / Oilseed radish – by the cut	18,3-95,1	10,2-53,0	23,6-122,0
Рапс яровой – пожнивно / Spring rape – stubble	9,8-15,1	5,4-14,0	12,3-32,4
Рапс яровой – поукосно / Spring rape – by the cut	19,7-79,9	10,9-44,0	24,7-100,2
Горчица белая – пожнивно / White mustard – stubble	18,8-22,5	11,7-14,0	25,5-30,6
Горчица белая – поукосно / White mustard – by the cut	38,3-65,1	23,9-40,6	52,0-88,6

²Опытное дело в полеводстве. М.: Россельхозиздат, 1982. 190 с.

³Баланс гумуса и питательных веществ в интенсивном земледелии: методические указания. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 1989. 25 с.

⁴Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 42 с.

В контрольном севообороте с чистым паром (табл. 2) дефицит азота составлял 258,5 кг/га. При минимальных дозах удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$) в данном варианте поступает на 50-120 кг/га меньше азота с минеральными удобрениями, т.к. в структуре севооборота 37,5 % занимают поля, где удобрения не вносятся (чистый пар и клеверотимофеечная смесь). Поступление с корнеотпрысковыми остатками (КСО) азота выше, чем с минеральными удобрениями – 267,5 кг/га. Вынос азота увели-

чивается за счет многолетних трав. Два поля клевера с тимофеевкой выносят в сумме 447,6 кг/га азота. Высокий вынос питательных элементов многолетними травами отмечается и в исследованиях А. А. Завалина, А. В. Пасынкова [16], С. А. Замятина и соавторов [17]. Следовательно, в контрольном севообороте при внесении сравнительно невысоких доз удобрений создается дефицитный баланс азота (-258,5 кг/га) при интенсивности 72 %.

Таблица 2 – Баланс азота в севооборотах /
 Table 2 – Nitrogen balance in crop rotations

	Севооборот / Crop rotation			
	I	II	III	IV
Статья баланса / Balance point	с чистым паром (контроль) / with clean fallow (control)	с занятым паром / with cropped fallow	с сидеральным паром (люпин) / with green manure fallow (lupin)	с сидеральными парами (клевер, однолетние травы) / with green manure fallows (clover, annual herbs)
Продуктивность севооборота, тыс. корм. ед. / Crop rotation productivity, thousands of fodder units	4,47*	4,79	4,22	4,41
Поступило всего, кг/га / Received total, kg/ha:	648,5	1276,0	1492,4	1447,0
- с минеральными удобрениями / with mineral fertilizers	150,0	200,0	220,0	270,0
- с КСО, сидератами / with crop residues, green manure	267,5	375,9	420,7	589,9
- с промежуточными культурами / with intercrops	-	32,1	166,6	239,5
- с отавой многолетних трав / with aftergrass of perennial herbs	-	227,3	220,0	-
- биологическая азотфиксация / biological N-fixation	162,2	371,9	396,3	278,8
- несимбиотическая азотфиксация, осадки / non-symbiotic N-fixation, precipitations	68,8	68,8	68,8	68,8
Вынос с урожаем, кг/га / Yield removal, kg/ha	906,5	1025,8	1049,6	962,7
Баланс, кг/га / Balance, kg/ha	-258,5	+250,2	+442,8	+484,3
Интенсивность баланса, % / Balance intensity, %	72	124	142	150

* $HCP_{05} = F_{\phi} < F_T$ / * $LSD_{05} = F_T < F_t$

Проблема введения в структуру севооборотов чистого пара постоянно обсуждается. Совместно с определением доли чистого пара, возможной замены его занятыми или сидеральными парами, оптимизация севооборотов связана с разнообразием культур, в особенности с расширением доли бобовых многолетних трав, применением пожнивных и поукосных посевов крестоцветных культур [18]. Исследования В. П. Владимирова и соавторов показали, что использование редьки масличной, горчицы белой, сурепицы, люпина узколистного обеспечивает получение 15,0-31,5 т/га

надземной массы, что эквивалентно 30 т подстилочного навоза [19].

Положительный баланс азота (+250,2 кг/га) получаем в севообороте II с занятым паром, двумя полями многолетних бобовых трав при посеве в одном поле пожнивной горчицы белой. Поступление азота в количестве 227,3 кг/га увеличивает и запахивание отавы клевера. Отчуждение азота с урожаем культур (1025,8 кг/га) не превышает его поступления (1276,0 кг/га) и при бездефицитном балансе интенсивность его возрастает до 124 %.

Расширение приемов биологизации в севооборотах еще более увеличивает баланс в положительную сторону. Замена занятого пара во II севообороте сидеральным (III) с посевом люпина узколистного, посев пожнивно редьки масличной и поукосно рапса ярового (25 %) обеспечивают поступление 587,3 кг/га азота. Дополнительное запахивание отавы клеверотимофеечной смеси еще повысил приход азота на 220 кг/га. Позитивный баланс азота увеличился до 442,8 кг/га при интенсивности 142 % в сидеральном (III) севообороте.

В севооборотах длинной ротации возможно введение двух сидеральных полей. В севообороте IV вносится наибольшее количество минеральных удобрений (в семи полях), что дополняется двумя сидеральными культурами (клевер и смесь редька масличная + пелюшка + овес) и посевом трех (37,5 %) промежуточных культур (рапса ярового, редьки масличной, горчицы белой).

При введении в структуру IV севооборота рапса ярового пожнивно, редьки масличной и горчицы белой поукосно приход азота в севообороте увеличивается на 239,5 кг/га. За счет максимального введения биологических факторов при минимальном уровне внесения минеральных удобрений обеспечивается положительный баланс азота 484,3 кг/га, а его интенсивность 150 % уже превышает оптимальный уровень.

Определенный интерес в приходной статье баланса азота представляет доля биологически фиксированного азота. Минимальной она была в севообороте с чистым паром (162,2 кг/га), где азот фиксировали только два поля многолетних бобово-злаковых трав. По мере увеличения биологических факторов его доля доходила до 396,3 кг/га и была наибольшей в севообороте III с сидеральным люпиновым паром и снизилась до 278,8 кг/га в севообороте IV при наличии в структуре одного поля многолетних трав. При высоком насыщении севооборотов бобовыми травами и промежуточными культурами доля участия симбиотического азота в балансе составила 19,3-29,1 % при обогащении почвы азотом на 81,1-186,6 кг/га в год.

Расчет баланса фосфора (табл. 3) показал, что внесение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ в среднем за год не обеспечивает уравновешенного его баланса в контрольном севообороте с чистым паром и двумя полями многолетних трав. Превышение выноса над поступлением фосфора составило 129,1 кг/га при интенсивности баланса 64 %. Результаты

авторов [20], напротив, показали, что на дерново-подзолистой почве Подмосквья в зерно-травяном севообороте внесение $N_{30}P_{30}K_{30}$ обеспечивало уравновешенный баланс фосфора до +9,0 кг/га с возмещением выноса на 91-143 %.

Вынос фосфора из почвы урожаями культур значительно ниже, чем азота, но клевера также выносят наибольшее количество этого элемента. Так, при сборе 6,35 т/га с. в. выносятся 76,2 кг/га, а при повышении урожайности до 7,96 т/га этот показатель увеличивается до 95,5 кг/га. Зерновые культуры выносят фосфора с урожаем 31,9-49,7 кг/га. Вынос значительно снижается при введении в севообороты смесей зерновых с зернобобовыми или крестоцветными культурами при использовании их на зернофураж 15,0-15,5 кг/га.

Баланс фосфора с положительным приростом улучшался по мере насыщения севооборотов зернобобовыми смесями, промежуточными культурами, сидератами. Промежуточные культуры могут обогащать почву P_2O_5 на 5,4-53,0 кг/га в зависимости от цели их использования (табл. 1). В севооборотах с занятым паром (II) и сидеральным (III) вносится одинаковое количество минеральных удобрений 180 кг/га, но введение двух промежуточных культур в сидеральном севообороте (III) обеспечивает поступление 89,7 кг/га азота и положительный баланс увеличивается до 65,5 кг/га с интенсивностью 117 % (табл. 3).

В севообороте с двумя сидеральными парами (IV) при одном поле клевера значительно снижается вынос фосфора и увеличивается его приход с тремя промежуточными культурами и сидеральной массой с двух полей. Поступление с минеральными удобрениями также повышается до 210 кг/га за счет внесения фосфора в семи полях, что привело к положительному балансу (+148,1 кг/га) при экологически безопасных нормативах интенсивности 145 % [21].

Систематическое внесение фосфорных удобрений и применяемые факторы биологизации позволяют не только сохранить исходное содержание этого элемента в почве, но и увеличить его. Достоверное увеличение подвижного фосфора на 39-46 мг/кг ($HCp_{05} = 14,0$) произошло в севооборотах с занятым и сидеральными парами. В контрольном севообороте повышение отмечено только на уровне тенденции.

По группировке обеспеченности фосфором почвы перешли в группу «высокая обеспеченность».

Таблица 3 – Баланс фосфора в севооборотах /
 Table 3 – Balance of phosphorus in crop rotations

Статья баланса / Balance point	Севооборот / Crop rotation			
	I	II	III	IV
	с чистым паром (контроль) / with clean fallow (control)	с занятым паром / with cropped fallow	с сидеральным паром (люпин) / with green manure fallow (lupin)	с сидеральными парами (клевер, однолетние травы) / with green manure fallows (clover, annual herbs)
Поступило всего, кг/га / Received total, kg/ha:	226,8	395,0	450,9	476,3
- с минеральными удобрениями / with mineral fertilizers	150,0	180,0	180,0	210,0
- с КСО, сидератами / with crop residues, green manure	76,8	119,6	111,2	134,8
- с промежуточными культурами / with intercrops	-	17,9	89,7	131,5
- с отавой многолетних трав / with aftergrass of perennial herbs	-	77,5	70,0	-
Вынос с урожаем, кг/га / Yield removal, kg/ha	355,9	382,5	385,4	328,2
Баланс, кг/га / Balance, kg/ha	-129,1	+12,5	+65,5	+148,1
Интенсивность баланса, % / Balance intensity, %	64	163	117	145
Содержание подвижного фосфора в начале ротации, мг/кг почвы / Content of mobile phosphorus at the beginning of rotation, mg/kg of soil	160	151	148	155
Среднее по севооборотам / Average for crop rotations	153,5			
Содержание подвижного фосфора в конце ротации, мг/кг почвы / Content of mobile phosphorus at the end of rotation, mg/kg of soil	172	197	194	194
Среднее по севооборотам / Average for crop rotations	189,2			
НСР ₀₅ (по содержанию P ₂ O ₅) / LSD ₀₅ (by P ₂ O ₅ content)	14,0			

При расчете баланса калия отмечена эта же тенденция, что и при балансе азота и фосфора. В контрольном севообороте отмечается наименьшее поступление обменного калия с минеральными удобрениями и корнеостерневыми остатками (табл. 4). Здесь вынос с урожаем превосходит поступление калия на 252,1 кг/га, создавая отрицательный баланс при его интенсивности 63 %. Наблюдается высокий вынос элемента с урожаем многолетних трав – 139,0 и 159,4 кг/га, в то время как зерновые выносят 62,0-96,6 кг/га. Исследования авторов [20] также показали, что при внесении минеральных удобрений в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ и насыщении севооборота бобовыми культурами до 67 % не обеспечивался бездефицитный баланс калия, но снижалась величина отрицательного баланса с 67-81 до 38-51 кг/га.

Баланс калия в севообороте с занятым паром (II) при введении одной пожнивной культуры и запахиваемой отавы клевера увеличивается в положительную сторону (+128,9 кг/га),

интенсивность повышается до 116 %, превышая экологически безопасные нормативы для данного типа почв (70 %).

В сидеральных севооборотах поступление калия значительно возрастает (1220,7 и 1223,6 кг/га) за счет введения в их структуру промежуточных культур до 25,0-37,5 % (2-3 поля). Надземная масса и корневые остатки крестоцветных, богатые калием, оставляют после себя до 100,2-122,0 кг/га этого элемента (табл. 1). В данных севооборотах обеспечивается положительный баланс калия с приходом его до 386,7 и 395,8 кг/га за ротацию при высоких показателях интенсивности 146 и 148 % (табл. 4).

Содержание обменного калия в почве осталось в этой же группе обеспеченности («повышенное» – 131-140 мг/кг) этим элементом. Тенденцию снижения содержания этого элемента в почве можно наблюдать в севооборотах с двумя полями многолетних трав (II и III) за счет значительного выноса калия бобовыми травами.

Таблица 4 – Баланс калия в севооборотах /
 Table 4 – Balance of potassium in crop rotations

	Севооборот / Crop rotation			
	I	II	III	IV
Статья баланса / Balance point	с чистым паром (контроль) / with clean fallow (control)	с занятым паром / with cropped fallow	с сидеральным паром (люпин) / with green manure fallow (lupin)	с сидеральными парами (клевер, однолетние травы) / with green manure fallows (clover, annual herbs)
Поступило всего, кг/га / Received total, kg/ha:	437,3	929,2	1220,7	1223,6
- с минеральными удобрениями / with mineral fertilizers	150,0	180,0	180,0	210,0
- с КСО, сидератами / with crop residues, green manure	287,3	442,2	586,0	683,2
- с промежуточными культурами / with intercrops	-	40,0	204,7	330,4
- с отавой многолетних трав / with aftergrass of perennial herbs	-	267,0	250,0	-
Вынос с урожаем, кг/га / Yield removal, kg/ha	689,4	800,3	834,0	827,8
Баланс, кг/га / Balance, kg/ha	-252,1	+128,9	+386,7	+395,8
Интенсивность баланса, % / Balance intensity, %	63	116	146	148
Содержание обменного калия в начале ротации, мг/кг почвы / Content of exchangeable potassium at the beginning of rotation, mg/kg of soil	130	132	138	142
Среднее по севооборотам / Average for crop rotations	135,5			
Содержание обменного калия в конце ротации, мг/кг почвы / Content of exchangeable potassium at the end of rotation, mg/kg of soil	132	129	131	140
Среднее по севооборотам / Average for crop rotations	133,0			
HCP ₀₅ (по содержанию K ₂ O) / LSD ₀₅ (by K ₂ O content)	9,5			

Определение корреляционной зависимости урожайности ячменя в последствии при создавшемся уровне плодородия показало, что зависимость от содержания подвижного фосфора и обменного калия средняя ($r = 0,33-0,36$).

Продуктивность севооборотов в большей степени зависела от наличия в структуре паровых полей и доли зерновых культур, дающих больший выход кормовых единиц. Применение минеральных удобрений в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ обеспечивало продуктивность севооборотов на уровне 4,22-4,79 тыс. корм. единиц (табл. 2). По количеству кормовых единиц выигрывал севооборот с занятым паром (II). Средняя урожайность зерновых получена независимо от доли биологических факторов на уровне 3,26-3,29 т/га.

Если промежуточные культуры использовать не на сидеральные цели, как источник органического вещества, а на корм, то дополнительно можно получить 1,21-3,00 тыс. кормовых единиц в III и IV севооборотах.

Выявлена высокая корреляционная зависимость ($r = 0,77$) между поступлением органического вещества в почву и урожайностью сидеральных и промежуточных культур.

Заключение. Многолетние исследования, проведенные в стационарном опыте, показали, что освоение биологизированных севооборотов может стать альтернативой применения агрохимических средств, обеспечивающих сохранение и повышение плодородия дерново-подзолистых почв Кировской области. За восемь лет ротации полевых севооборотов на почвах с высоким содержанием подвижного фосфора и повышенным содержанием калия при сравнительно низких дозах (N₃₀P₃₀K₃₀) минеральных удобрений и интенсивном использовании средств биологизации (сидеральные удобрения, промежуточные культуры, запахивание корне-стерневых остатков культур и отавы многолетних бобовых трав) возможно сохранение почвенного плодородия и формирование положительного баланса питательных элементов.

В контрольном севообороте с чистым паром при минимальном поступлении питательных элементов с минеральными удобрениями и корнестерневыми остатками баланс NPK был отрицательным с интенсивностью 72, 64, 63 % соответственно.

Замена чистого пара на занятый и сидеральные, посев промежуточных культур (12,5-37,5 %) способствуют созданию положительного баланса азота 250,2-484,3 кг/га с высокой интенсивностью 124-150 %.

Факторы биологической интенсификации способствовали и созданию положительного баланса фосфора 12,5-148,1 кг/га с оптимальной интенсивностью 117-163 % и баланса калия

128,9-395,8 кг/га при интенсивности выше оптимального значения 116-148 %.

Продуктивность севооборотов зависела от наличия паровых полей и зерновых культур в структуре. Применение минеральных удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$) с факторами биологической интенсификации обеспечивало продуктивность севооборотов на уровне 4,22-4,79 тыс. корм. ед. По наиболее оптимальному сочетанию продуктивности и баланса элементов питания выделяется севооборот с двумя сидеральными парами (клевер и смесь редька масличная + пелюшка + овес) и посевом промежуточных культур в трех полях (37,5 % в структуре севооборота).

Список литературы

1. Лошаков В. Г. Севооборот и плодородие почвы. М.: Изд-во ВНИИА, 2012. 512 с.
2. Лошаков В. Г. Эффективность раздельного и совместного использования севооборота и удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(1):9-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651219>
3. Isbell F., Adler P. R., Eisenhauer N., Fornara D., Kimmel K., Kremen C., Letourneau D. K., Liebman M., Polley H. W., Quijas S., Scherer-Lorenzen M. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. Journal of Ecology. 2017;105(4):871-879. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
4. Каштанов А. Н. Адаптивно-ландшафтные системы основа экологизации и биологизации земледелия. Russian agricultural science review. 2015;6(6-1):16-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23851921>
5. Постников П. А., Попова В. В. Влияние удобрений на урожайность культур и вынос питательных элементов в зернопаросидеральном севообороте. Агрохимия. 2021;(4):42-48. DOI: <https://doi.org/10.31857/S000218812104013X>
6. Torma S., Vilček J., Lošák T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2018;68(4):358-366. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134>
7. Dubey R. K., Dhaker R. C., Mundra S. L., Tiwari R. C., Dubey S. K., Dubey R. Response of Indian mustard to nutrients and plant growth regulators: the influence on yield, available soil P balance and P recycling through residues. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017;6(8):3319-3331. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.608.396>
8. Кислов А. В., Глинушкин А. П., Кашеев А. В., Сударенков Г. В. Экологизация севооборотов и биологическая система воспроизводства почвенного плодородия в степной зоне Южного Урала. Земледелие. 2018;(6):6-10. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10602>
9. Козлова Л. М. Продуктивность и баланс основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(1):6-9. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10102>
10. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А., Светлакова Е. В. Баланс элементов питания в севооборотах в условиях биологизированного адаптивно-ландшафтного земледелия. Таврический вестник аграрной науки. 2021;(3(27)):84-94. DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94>
11. Чекмарев П. А. Состояние плодородия почв и мероприятия по его повышению в 2012 г. Агрохимический вестник. 2012;(1):2-4. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17468373>
12. Сычев В. Г., Шафран С. А. О балансе питательных веществ в земледелии России. Плодородие. 2017;(1):1-4. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28846834>
13. Лукин С. В. Влияние биологизации земледелия на плодородие почв и продуктивность агроценозов (на примере Белгородской области). Земледелие. 2021;(1):11-15. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10103>
14. Комарова Н. А., Комаров В. И., Гришнина А. В., Беликова Т. А. Баланс питательных веществ в почвах и динамика изменения величины почвенно-агрохимического индекса. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013;2(9 (13)):234-240. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20434023>
15. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(5):467-477 DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477>
16. Завалин А. А., Пасынков А. В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: РАСХН, 2007. 208 с.

17. Замятин С. А., Ефимова А. Ю., Максуткин С. А. Влияние полевых севооборотов на накопление пожнивнокорневых остатков в пахотном слое дерново-подзолистой почвы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(6):594-601. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601>
18. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. *Почвоведение*. 2019;(9):1130-1139. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
19. Владимиров В. П., Егоров Л. М., Аппаков В. И. Сидеральная культура – эффективный предшественник для картофеля. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2012;7(3):101-105. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17993511>
20. Конончук В. В., Штырхунов В. Д., Тимшенко С. М., Лисеенко Е. Н. Баланс элементов питания и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы за ротацию зерноотраважного севооборота. *Агрохимия*. 2008;(12):3-11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11617658>
21. Шафран С. А., Кирпичников Н. А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах. *Агрохимия*. 2019;(4):3-10. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119040112>

References

1. Loshakov V. G. Crop rotation and soil fertility. Moscow: *Izd-vo VNIIA*, 2012. 512 p.
2. Loshakov V. G. Effectiveness of separate and combined use of crop rotation and fertilizers. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(1):9-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651219>
3. Isbell F., Adler P. R., Eisenhauer N., Fornara D., Kimmel K., Kremen C., Letourneau D. K., Liebman M., Polley H. W., Quijas S., Scherer-Lorenzen M. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology*. 2017;105(4):871-879. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
4. Kashtanov A. N. Adaptive landscape systems are the basis of ecologization and biologization of agriculture. *Russian agricultural science review*. 2015;6(6-1):16-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23851921>
5. Postnikov P. A., Popova V. V. Influence of fertilizers on crop yield and removal of nutrient elements in grain-steam-sideral crop rotation. *Agrokhimiya*. 2021;(4):42-48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S000218812104013X>
6. Torma S., Vilček J., Lošák T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2018;68(4):358-366. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134>
7. Dubey R. K., Dhaker R. C., Mundra S. L., Tiwari R. C., Dubey S. K., Dubey R. Response of Indian mustard to nutrients and plant growth regulators: the influence on yield, available soil P balance and P recycling through residues. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017;6(8):3319-3331. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.608.396>
8. Kislov A. V., Glinushkin A. P., Kashcheev A. V., Sudarenkov G. V. Ecology modeling of crop rotations and biological reproduction of soil fertility in the steppe area of the South Urals. *Zemledelie*. 2018;(6):6-10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10602>
9. Kozlova L. M. Productivity and Balance of Main Nutrients in Crop Rotations at Different Levels of Intensification. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(1):6-9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10102>
10. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A., Svetlakov E. V. Balance of nutrition elements in crop rotation under biologized adaptive landscape farming. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki = Taurida herald of the agrarian sciences*. 2021;(3(27)):84-94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94>
11. Chekmarev P. A. Soil fertility and measures of its increase in 2012. *Agrokhimicheskiy vestnik = Agrochemical Herald*. 2012;(1):2-4. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17468373>
12. Sychev V. G., Shafran S. A. Balance of nutrients in Russian agriculture. *Plodorodie*. 2017;(1):1-4. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28846834>
13. Lukin S. V. Influence of agriculture biologization on soil fertility and productivity of agroecosystems (Belgorod experience). *Zemledelie*. 2021;(1):11-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10103>
14. Komarova N. A., Komarov V. I., Grishina A. V., Belikova T. A. Balance of nutrients in the soils and the dynamics of a change of the value of the soil-agrochemical index. *XXI vek: itogi proshlogo i pro-blemy nastoyashchego plus = XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus*. 2013;2(9 (13)):234-240. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20434023>
15. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. Improvement of crop rotations aimed at increasing their efficiency and conserving soil fertility in conditions of biological intensification. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(5):467-477. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477>
16. Zavalin A. A., Pasyunkov A. V. Nitrogen nutrition and grain crop quality forecast. Moscow: *RASKhN*, 2007. 208 p.

17. Zamyatin S.A., Efimova A.Yu., Maksutkin S.A. The influence of field crop rotations on the accumulation of crop-root residues in the arable layer of sod-podzolic soil. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(6):594-601. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601>
18. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive-landscape farming systems. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2019;(9):1130-1139. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
19. Vladimirov V. P., Egorov L. M., Appakov V. I. Green manure crops - effective for potato predecessor. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2012;7(3):101-105. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17993511>
20. Kononchuk V. V., Shtyrkhunov V. D., Timshenko S. M., Liseenko E. N. Balance of Nutrients and Changes in Agrochemical Parameters of Soddy-Podzolic Soil during a Grain-Grass Crop Rotation Cycle. *Agrokhimiya*. 2008;(12):3-11. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11617658>
21. Shafran S. A., Kirpichnikov N. A. Scientific basis for predicting the content of mobile forms of phosphorus and potassium in soils. *Agrokhimiya*. 2019;(4):3-10. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119040112>

Сведения об авторах

✉ **Козлова Людмила Михайловна**, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом земледелия, агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Попов Фёдор Александрович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>

Носкова Евгения Николаевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

Information about the authors

✉ **Lyudmila M. Kozlova**, DSc in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Department of Crop Farming, Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Fyodor A. Popov, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>

Eugenia N. Noskova, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Crop Farming, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Elena V. Svetlakova, junior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Ферментативная активность техногенных поверхностных образований Кузбасса

© 2022. А. С. Фролова , М. К. Переверзева, А. К. Асякина, Ю. В. Голубцова, М. А. Осинцева

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово,
Российская Федерация

Угольная промышленность является одной из ведущих отраслей в мировом энергобалансе. Главным регионом России, специализирующимся на угледобыче, является Кузбасс, где добывают около 60 % всего угля страны. Добыча на территории Кемеровской области осуществляется в основном открытым способом, в результате чего образуются нарушенные земли, площадь которых составляет порядка 178 тыс. га. Индикатором самовосстановления почв является ферментативная активность. Цель работы – изучение ферментативной активности техногенных поверхностных образований Кузбасса для оценки их токсичности и дальнейшего подбора микроорганизмов-деструкторов, ризобактерий и растений-гипераккумуляторов, которые будут применяться на биологическом этапе рекультивации. Материалом для исследования послужили образцы техногенных поверхностных образований, отобранные на территории Барзасского и Моховского угольных отвалов. Ферментативная активность техногенно нарушенных образований отвалов составила: инвертаза – 2,24 и 2,12 мг сахарозы, расщепленной 1 г почвы за 1 час; нитритредуктаза – 0,57 и 0,07 мг восстановленного NO_2^- на 1 г почвы за 24 часа; аспарагиназа – 71,22 и 60,63 мг NH_3 на 1 г почвы за 24 часа соответственно. При изучении ферментативной активности сделали предположение – аборигенная микрофлора использует в качестве источников углерода низко- и высокомолекулярные углеводороды (алканы, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и др.). Содержание подвижных форм тяжелых металлов (ТМ) в изучаемых образцах превышает предельно допустимые концентрации в 1,2–2,6 раза. В ходе статистического анализа выявлено, что валовые и подвижные формы цинка и меди являются ингибиторами нитритредуктазы, валовая и подвижная формы никеля – активаторами аспарагиназы в техногенных нарушенных образованиях исследуемых угольных отвалов, а также ингибиторами инвертазы в Моховском угольном отвале.

Ключевые слова: угольные отвалы, загрязненная почва, тяжелые металлы, инвертаза, нитритредуктаза, аспарагиназа

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (тема FZSR-202100).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Фролова А. С., Переверзева М. К., Асякина Л. К., Голубцова Ю. В., Осинцева М. А. Ферментативная активность техногенных поверхностных образований Кузбасса. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(4):538-547. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.538-547>

Поступила: 30.05.2022

Принята к публикации: 09.08.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Enzymative activity of technogenic surface formations of Kuzbass

© 2022. Anna S. Frolova , Maria K. Pereverzeva, Ludmila K. Asyakina, Yulia V. Golubtsova, Maria A. Osintseva

Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

The coal mining is one of the leading industries in the global energy balance. Kuzbass is the main region of Russia that specializes in coal mining. About 60 % of the country's coal is mined there. Coal mining is carried out mainly by the open-pit method. As a result, some 178 thousand hectares ha of disturbed land are formed. Enzymatic activity is an indicator of soil self-repair. The aim of the work was to study the enzymatic activity of technogenic surface formations of the Kuzbass to assess their toxicity and further selection of destructor microorganisms, rhizobacteria and hyperaccumulator plants, which will be further used at the biological stage of recultivation. As objects of research, the samples of technogenic surface formations taken on the territory of the Barzassky and Mokhovsky coal dumps. Enzymatic activity of technogenic surface formations of dumps was: invertase – 2,24 and 2,12 mg of sucrose split 1 g soil in 1 h; nitrite reductase – 0,57 and 0,07 mg reduced NO_2^- per 1 g soil in 24 h; asparaginase – 71,22 and 60,63 mg NH_3 per 1 g soil in 24 h, respectively. When studying the enzymatic activity, it was assumed that the native microflora uses low- and high-molecular hydrocarbons (alkanes, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), etc.) as carbon sources. The content of mobile forms of heavy metals (HM) in the studied samples exceeds the maximum allowable concentration by 1,2–2,6 times. In the course of statistical analysis, it was revealed that the gross and mobile forms of zinc and copper are nitrite reductase inhibitors, the gross and mobile form of nickel is an asparaginase activator, in technogenic disturbed formations of the studied coal dumps. Nickel is also an invertase inhibitor in the Mokhovsky coal dump.

Keywords: coal dumps, polluted soil, heavy metals, invertase, nitrite reductase, asparaginase

Acknowledgements: the work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (theme FZSR-2021-00).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citation: Frolova A. S., Pereverzeva M. K., Asyakina L. K., Golubtsova Yu. V., Osintseva M. A. Enzymatic activity of technogenic surface formations of Kuzbass. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):538-547. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.538-547>

Received: 30.05.2022

Accepted for publication: 09.08.2022

Published online: 25.08.2022

Угольная промышленность является одной из ведущих отраслей в мировом энергобалансе. В Российской Федерации центром угледобычи является Кемеровская область – Кузбасс. В регионе добывается около 60 % всего угля России [1]. Эффективность угледобычи ежегодно увеличивается в связи с модернизацией производства, что негативно сказывается на экологическом состоянии региона. Это связано с тем, что добыча производится в основном открытым способом, в результате чего нарушается плодородный слой почвы и образуются отвалы вскрышных пород. Немаловажную роль в экологическом состоянии региона играют углеобогащательные фабрики, отходы которых также хранятся на ранее ненарушенных землях. Результатом такой антропогенной деятельности является появление на территории области нарушенных земель, т. е. территорий, которые невозможно использовать по целевому назначению [2, 3]. Площадь нарушенных земель в Кемеровской области достигает 178 тыс. га. Наиболее подвержены антропогенному воздействию Кемеровский, Ленинск-Кузнецкий, Прокопьевский, Новокузнецкий, Беловский муниципальные округа/районы [3].

По данным многочисленных исследований, на территории угольных отвалов содержатся тяжелые металлы и металлоиды (марганец, кобальт, ванадий, цинк, свинец, никель, хром, медь, мышьяк и др.) [4], а также полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Наибольшую опасность для здоровья человека представляют летучие соединения свинца, мышьяка и ПАУ (большинство из которых являются канцерогенами), образующиеся в процессе горения угольных отвалов в летний период. Данные вещества способны распространяться на несколько километров от очага возгорания [5]. Это особенно важно, т. к. населенные пункты находятся в непосредственной близости от мест захоронения отходов угледобычи.

Загрязнение территорий поллютантами (тяжелыми металлами, металлоидами, ПАУ и т. д.) подавляет жизнедеятельность аборигенной микрофлоры, что препятствует есте-

ственному восстановлению почв, индикатором эффективности которой является ферментативная активность [6]. Ферменты участвуют в расщеплении сложных органических и неорганических соединений, переводят их в легкоусвояемые и нетоксичные для растений формы. Наиболее значимыми являются [7, 8, 9, 10]:

– инвертаза, отвечающая за расщепление полисахаридов до моносахаридов;

– целлюлаза, отвечающая за расщепление целлюлозы растений до усвояемых моносахаридов;

– нитритредуктаза, отвечающая за окисление нитритов до газообразных соединений азота;

– апарегиназа, участвующая в восстановлении азотсодержащих органических соединений (аминокислот, пептидов) до аммиака;

– уреазы и протеазы, участвующие в процессе превращения органического азота в неорганические формы;

– фосфатаза, участвующая в круговороте фосфора (гидролизе фосфорсодержащих органических соединений).

Помимо участия в круговороте питательных веществ, ферменты также способствуют адаптации микрофлоры и растений к действию поллютантов, за счет их детоксикации. Так, например, пероксидаза и полифенолоксидаза участвуют в окислении сложных органических соединений (полифенолов, ароматических соединений, ПАУ) до простых соединений, не оказывающих токсического действия на микроорганизмы и флору, и в образовании гумусовых веществ почвы [11].

Для разработки эффективной стратегии ремедиации мест захоронения отходов угледобычи (т. е. для подбора наиболее перспективных растений и микроорганизмов) необходимо провести санитарную оценку техногенных поверхностных образований (анализ содержания тяжелых металлов и металлоидов, ПАУ, фенольных веществ и т. д.) и изучить ее биохимические показатели (т. е. ферментативную активность) [12].

Цель исследований – изучение ферментативной активности техногенных поверхностных образований Кемеровской области (Кузбасса) для оценки их токсичности и даль-

нейшего подбора микроорганизмов-деструкторов, ризобактерий и растений-гипераккумуляторов, которые в дальнейшем будут применяться на биологическом этапе рекультивации.

Научная новизна – получение экспериментальных данных о содержании тяжелых металлов и ферментативной активности техногенных поверхностных образований Кузбасса за 2021 год, необходимых для разработки консорциума на основе аборигенной микрофлоры

исследованных территорий и создания эффективной стратегии ремедиации мест захоронения отходов угледобычи.

Материал и методы. Объектами исследования являлись образцы техногенных поверхностных образований, отобранные с отвала обогатительной фабрики ООО «СП «Барзасское товарищество» (рис. 1) и поверхностного слоя внешнего отвала «Моховский угольный разрез» (рис. 2).

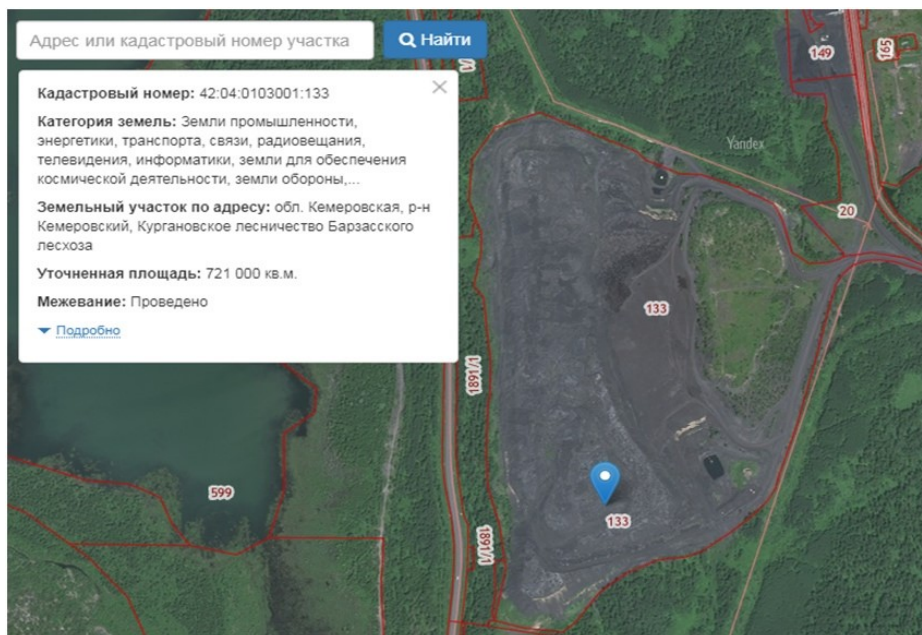


Рис. 1. Снимок со спутника отвала обогатительной фабрики ООО «СП «Барзасское товарищество» с сайта «Публичная кадастровая карта» /

Fig. 1. The location of the coal dump of the processing factory "Barzassky partnership", source: <https://pkk.rosreestr.ru/>

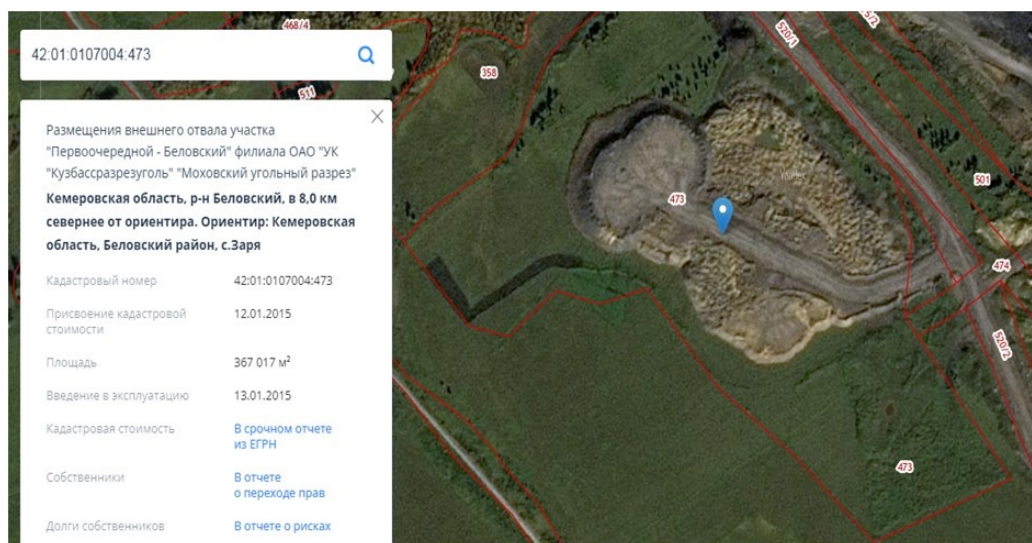


Рис. 2. Снимок со спутника отвала «Моховский угольный разрез» с сайта «Публичная кадастровая карта» /

Fig. 2. The location of the coal dump «Mokhovskiy coal mine», source: <https://pkk.rosreestr.ru/>

Отбор образцов техногенных поверхностных образований на территории угольных отвалов осуществляли в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017¹.

Для анализа ферментативной активности техногенных поверхностных образований выбраны следующие ферменты: инвертаза, нитритредуктаза и аспарагиназа.

Определение инвертазной активности проводили по методу, описанному Sun и др. [13]. Навеску образца массой 5 г помещали в коническую колбу объемом 50 мл, приливали 5 мл 20%-го раствора сахарозы и 5 мл ацетатного буфера, перемешивали, колбу помещали в термостат при температуре 37 °C на 3 часа. Далее в колбу приливали 40 мл дистиллированной воды, перемешивали и фильтровали, 10 мл фильтрата помещали в мерную колбу на 50 мл, вносили 4 мл медного реактива, кипятили в течение 25 минут на водяной бане. Охлаждали и приливали к нему 2 мл 0,2 М раствора гидрофосфата натрия, 5 мл молибденового реактива и перемешивали. Через 1 час доводили до метки водой и помещали в кювету для колориметрирования. Измерение проводили при длине волны 620 нм. Инвертазную активность выражали в мг сахарозы, расщепленной 1 г почвы за 1 час.

Определение нитритредуктазной активности осуществляли по методике, описанной Liu и др. [14]. Навеску пробы массой 1 г смешивали с 20 мг карбоната кальция, 1 мл раствора нитрита натрия (0,5%-й) и 1 мл раствора глюкозы (1%-й) и перемешивали. Колбу помещали в термостат при температуре 30 °C на 24 часа. После выдержки в колбы с образцом вносили 50 мл дистиллированной воды и 1 мл алюминиевых квасцов. Полученный раствор перемешивали и фильтровали. В мерную колбу объемом 50 мл помещали 5 мл фильтрата, вливали 5 мл дистиллированной воды и 4 мл раствора реактива Грисса; доводили до метки дистиллированной водой. Колбу взбалтывали и через 15 минут окрашенные растворы колориметрировали при длине волны 600 нм. Активность нитритредуктазы выражали в мг восстановленного NO₂⁻ на 1 г почвы за 24 часа.

Для анализа аспарагиназной активности использовали методику, описанную El-Gendy

[15]. В колбу объемом 50 мл вносили 1 г исследуемого образца, приливали 5 мл раствора аспаргина (3%-й), 0,2 мл толуола и доводили до метки фосфатным буфером (pH = 6,7). Пробы помещали в термостат (t = 30 °C) на 24 часа. После выдержки в колбу вносили 25 мл раствора хлорида кальция (1 Н). Полученный раствор перемешивали и фильтровали. К 10 мл фильтрата добавляли несколько крупиц красителя бромфенилового синего и титровали раствором серной кислоты (0,02 Н). Активность аспарагиназы выражали в мг NH₃ на 1 г почвы за 24 часа.

Содержание валовых и подвижных форм цинка, меди и никеля определяли по М-МВИ-80-2008 методом атомно-абсорбционной спектроскопии². Экстракцию проводили с помощью ацетатно-аммонийного буфера (pH = 4,8).

Все исследуемые параметры определяли в трехкратной повторности.

Для статистической обработки данных использовали значения коэффициента корреляции Пирсона (*r*). Достоверность результатов определяли с помощью коэффициента значимости (*p* < 0,05). Расчет данных коэффициентов проводили, используя пакет программ Microsoft Office. Степень связи определяли в соответствии со шкалой оценки линейного коэффициента корреляции Пирсона: 0,1-0,3 – слабая; 0,3-0,5 – умеренная; 0,5-0,7 – заметная; 0,7-0,9 – высокая; 0,9-1,0 – весьма высокая [16].

Результаты и их обсуждение. Основные агрохимические свойства техногенных поверхностных образований даны в таблице 1. Необходимо отметить, что органическое вещество техногенных поверхностных образований следует рассматривать как потенциальное содержание высокомолекулярных углеродсодержащих токсичных органических соединений, характерных для угольных отвалов (ПАУ, высокомолекулярные алканы и т. д.).

Анализ активности выбранных ферментов позволит оценить скорость накопления в техногенных поверхностных образованиях основных питательных веществ (моносахаридов, органического и доступного неорганического азота), необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов и растений.

¹ГОСТ 17.4.4.02–2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158951>

²М-МВИ-80-2008 Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293824/4293824289.htm>

Таблица 1 – Агрохимические свойства техногенных поверхностных образований /
 Table 1 – Agrochemical properties of technogenic surface formations

Показатель / Indicator	Угольный отвал / Coal dump	
	Барзасский / Barzassky	Моховский / Mokhovsky
pH _{вод}	7,9	8,9
Органическое вещество, % / Organic matter, %	1,39	4,02
Степень насыщенности основаниями, % / Saturation degree of bases, %	99,1	99,5
Обменный калий, мг/кг / Exchangeable potassium, mg/kg	111	119
Нитратный азот, мг/кг / Nitrate nitrogen, mg/kg	3,1	3,6
Общий азот, % / Total nitrogen, %	0,112	0,126
Кальций, ммоль/100 г / Ca, mmol/100 g	0,51	0,55
Магний, ммоль/100 г / Mg, mmol/100 g	0,62	0,59

Оценку инвертазной активности проводили с целью изучения способности аборигенной микрофлоры техногенных поверхностных образований использовать в качестве питательных веществ полисахариды, выделяемые в составе корневых экссудатов [10].

Это необходимо для обоснования использования только аборигенной микрофлоры в составе разрабатываемого микробного консорциума. Среднее значение инвертазной активности представлено на рисунке 3.

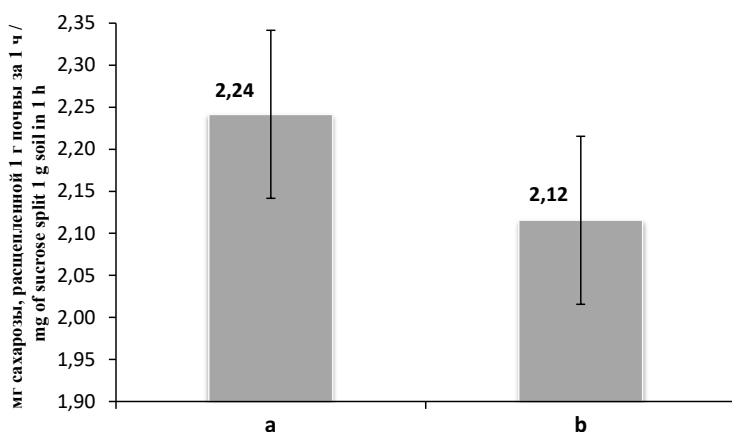


Рис. 3. Среднее значение инвертазной активности техногенных поверхностных образований угольных отвалов: а – Барзасский, б – Моховский /
 Fig. 3. Average value of invertase activity of technogenic surface formations coal dumps: a – Barzassky, b – Mokhovsky

Активность инвертазы образцов техногенных поверхностных образований, отобранных с поверхностного слоя Барзасского угольного отвала, выше в 1,06 раза, чем у образцов, отобранных с поверхностного слоя Моховского угольного отвала.

Оценку нитритредуктазной активности осуществляли для исследования способности микробиоты техногенных поверхностных образований проводить окисление труднодоступных нитритов до нитратов, т. е. образовывать доступные для растений формы азота [7]. Среднее значение нитритредуктазной активности техногенных поверхностных образований представлено на рисунке 4.

Активность нитритредуктазы образцов, отобранных с поверхностного слоя Барзас-

ского угольного отвала, выше в 8,14 раза, чем у образцов, отобранных с поверхностного слоя Моховского угольного отвала.

Оценку аспарагиназной активности проводили с целью изучения приспособленности аборигенной микрофлоры к условиям техногенных поверхностных образований (к действию полизагрязнения ТМ) [9]. Среднее значение аспарагиназной активности техногенных поверхностных образований представлено на рисунке 5.

Активность аспарагиназы образцов техногенного поверхностного образования, отобранных с Барзасского угольного отвала, выше в 1,17 раза, чем у образцов, отобранных с поверхностного слоя Моховского угольного отвала.

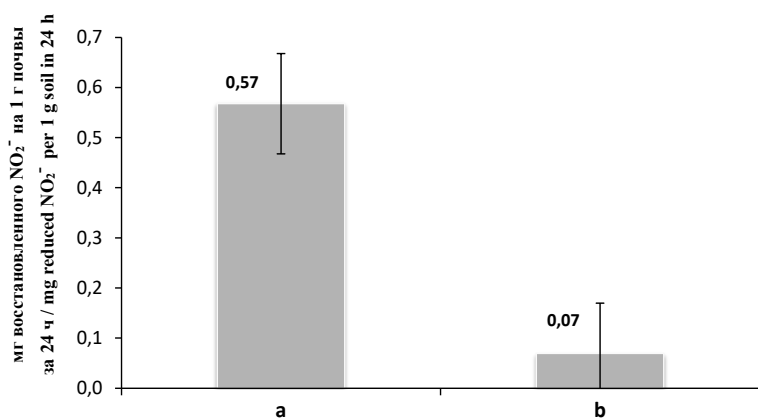


Рис. 4. Среднее значение нитрит-редуктазной активности техногенных поверхностных образований угольных отвалов: а – Барзасский, б – Моховский /

Fig. 4. Average value of nitritereductase activity of technogenic surface formations coal dumps: a – Barzassky, b – Mokhovskiy

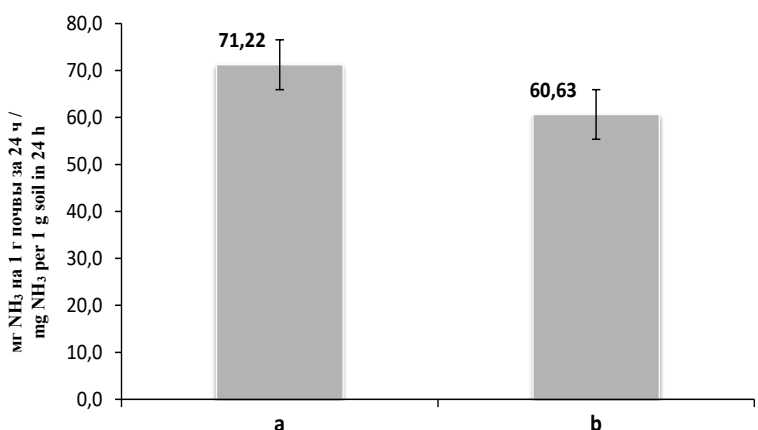


Рис. 5. Среднее значение аспарагиназной активности техногенных поверхностных образований угольных отвалов: а – Барзасский, б – Моховский /

Fig. 5. Average value of asparaginase activity of technogenic surface coal dumps formations: a – Barzassky, b – Mokhovskiy

Полученные данные косвенно свидетельствуют о следующем.

1. Аспарагиназная активность – об интенсивном развитии аборигенной микрофлоры (единственным источником органического азота на территории техногенных поверхностных образований является азот, входящий в состав бактериальных клеток).

2. Присутствие инвертазной активности в образцах техногенных поверхностных образований позволяет использовать только аборигенную микрофлору при разработке консорциума.

3. В состав аборигенной микрофлоры входят штаммы, способные переводить нитритные формы азота, являющиеся недоступными для растений, в доступные нитратные формы.

Стоит отметить, что низкая инвертазная активность и высокая аспарагиназная активность могут свидетельствовать о том, что аборигенная микрофлора техногенных поверхностных образований в качестве основного источника углерода использует ПАУ, алканы и другие углеводороды, и для их расщепления продуцирует ферменты, анализ которых не проводился.

Тяжелые металлы в больших концентрациях негативно влияют на ферментативную активность техногенных поверхностных образований [8]. По литературным данным, на территориях угольных отвалов Кемеровской области содержание цинка, меди, никеля в несколько раз превышает ПДК [17]. В этой связи необходимо оценить степень загрязненности изучаемых техногенных поверхностных образований данными металлами.

Результаты исследования содержания тяжелых металлов в образцах исследуемых техногенных поверхностных образований представлены в таблице 2.

Из результатов исследований следует, что содержание валовых форм меди, цинка и никеля не превышает ОДК для почв, относящихся к кислым суглинистым, глинистым, близким к нейтральным и нейтральным.

Сравнение проводили именно с этими показателями, поскольку для Кемеровской области – Кузбасса характерно преобладание серых лесных, дерново-подзолистых, подзолистых и других почв с кислой реакцией среды, а также почв, близких к нейтральной и с нейтральной средой [18].

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов техногенных поверхностных образований, отобранных с поверхностного слоя Барзасского и Моховского угольных отвалов /

Table 2 – The content of heavy metals in of technogenic surface formations samples of the Barzassky and Mokhovsky coal dumps

Показатель / Indicator	ПДК, ОДК / МРС, АРС	Угольный отвал / Coal dump	
		Барзасский / Barzassky	Моховский / Mokhovsky
Валовая форма, мг/кг почвы / Gross content, mg/kg of soil			
Медь / Cu	33/66/132*	21,44±1,08	18,36±0,87
Никель / Ni	20/40/80*	42,00±1,94	23,92±1,11
Цинк / Zn	55/110/220*	53,32±2,31	47,96±2,16
Подвижная форма, мг/кг почвы / Movable content mg/kg of soil			
Медь / Cu	3**	5,94±0,21	5,12±0,19
Никель / Ni	4**	10,34±0,43	5,77±0,22
Цинк / Zn	23**	34,21±1,55	26,57±1,12

* Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ для различных групп почв: песчаных и супесчаных, кислых суглинистых и глинистых (рН_{KCl} 5,5) согласно ГН 2.1.7.2511-09 /

* Approximately permissible concentration of the chemicals for various soil groups: sandy, acidic loamy and clayey (pH_{KCl} 5,5) according to hygienic standards 2.1.7.2511-09

** Согласно СанПиН 4266-87 / ** According to the SanRaN 4266-87

Высокое содержание валовых форм несмотря на то, что оно не превышает ОДК, является опасным фактором, способным повлиять на биологический этап рекультивации угольных отвалов. Это связано со снижением рН техногенных нарушенных образований за счет продукции органических кислот (в т. ч. за счет в составе корневых экссудатов), что приведет к увеличению подвижности всех изученных ТМ. Так, например, произойдет увеличение растворимости фосфатов и карбонатов меди и соединений никеля, образование сульфатов цинка [19, 20, 21].

При изучении подвижных форм ТМ обнаружено превышение ПДК, примерно: меди (2,0 ПДК и 1,7 ПДК), никеля (2,6 ПДК и 1,5 ПДК), цинка (1,5 ПДК и 1,2 ПДК) для образцов техногенных поверхностных образований Барзасского и Моховского угольных отвалов соответственно. Полученные результаты коррелируют с данными Н. В. Журавлевой и соавторов [22].

Высокое содержание подвижных форм меди в образцах техногенных поверхностных образований Барзасского и Моховского угольных отвалов (5,94 и 5,12 мг/кг почвы соответственно) может привести к нарушению процесса фотосинтеза в клетках растений [23]; превышение ПДК никеля (10,34 и 5,77 мг/кг почвы) может стать причиной ингибирования образования корневой системы растений [24]; высокое содержание цинка (34,21 и 26,57 мг/кг почвы) – причиной хлороза и некроза листьев [25].

Проведен корреляционный анализ влияния содержания валовых и подвижных форм ТМ на ферментативную активность техно-

генных поверхностных образований. Выявлены следующие взаимосвязи:

1. В образцах Барзасского угольного отвала присутствует заметная обратная связь между содержанием меди и нитритредуктазой ($r = -0,62$), высокая – между цинком и нитритредуктазой ($r = -0,74$); заметная прямая связь наблюдается между содержанием никеля и аспарагиназой ($r = 0,61$).

2. В образцах Моховского угольного отвала присутствует заметная обратная связь между содержанием меди, цинка и нитритредуктазой ($r = -0,65$, $-0,57$, соответственно), никеля и инвертазой ($r = -0,50$); заметная прямая связь наблюдается между никелем и аспарагиназой ($r = 0,59$).

С учетом полученных данных, дальнейшие исследования по восстановлению техногенных поверхностных образований будут направлены на скрининг микроорганизмов по следующим критериям:

1. Способность осуществлять биотрансформацию цинка, меди и никеля (перевод токсичных форм металлов в менее токсичные под действием ферментативных окислительно-восстановительных реакций с образованием комплексов металлов с органическими соединениями).

2. Способность продуцировать экзогенные фитогормоны (например, индолил-3-уксусную кислоту, отвечающую за рост боковых корней, ответственных за поглощение ионов тяжелых металлов; цитокинины, регулирующие транспорта цинка; жасмоновую кислоту, считающуюся перспективной биомолекулой для снижения токсичности ТМ) [26, 27, 28].

3. Для эффективного извлечения ТМ из техногенных поверхностных образований Кемеровской области предлагается использовать на биологическом этапе рекультивации растения-гипераккумуляторы. Наиболее перспективными (с учетом содержащихся в почве поллютантов и особенностей климатических условий Кузбасса) являются *A. retroflexus* L. и *Salix schwerinii* E.L. Wolf [29, 30].

Однако одной из проблем применения растений-гипераккумуляторов является ответ эндогенных фитогормонов на стресс, вызванный ТМ, что ведет к снижению накопления ТМ в клетках растительной ткани. Эту проблему может решить разрабатываемый консорциум за счет снижения токсичности ТМ и продукции экзогенных фитогормонов.

Заключение. Активность ферментов техногенных нарушенных образований Барзасского и Моховского угольных отвалов составила: инвертаза – 2,24 и 2,12 мг сахарозы, расщепленной 1 г почвы за 1 час; нитритредуктаза – 0,57 и 0,07 мг восстановленного NO₂⁻ на 1 г почвы за 24 ч; аспарагиназа – 71,22 и 60,63 мг NH₃ на 1 г почвы за 24 ч соответственно. Высокая активность аспарагиназы, отвечающей за превращение органических азотсодержащих соединений в аммиак, свидетельствует об интенсивной жизнедеятельности микроорганизмов и о том, что аборигенная микрофлора угольных отвалов использует в качестве

источников углерода высокомолекулярные углеводороды (ПАУ, алканы и др.).

Содержание валовых форм меди, никеля и цинка в Барзасском и Моховском угольных отвалах не превышает ОДК – 21,44, 18,36 и 42,00; 23,92, 53,32 и 47,96 мг/кг почвы соответственно.

Содержание подвижных форм ТМ, в соответствии с СанПиН 4266-87, превышает предельно допустимые концентрации: меди в 1,7-2,0 раза, никеля – 1,5-2,6, цинка – 1,2-1,5 раза.

Выявлены корреляционные взаимосвязи между ферментативной активностью техногенных нарушенных образований и содержанием в них валовых и подвижных форм тяжелых металлов. Вероятно, в техногенных нарушенных образованиях исследуемых угольных отвалов медь и цинк являются ингибиторами для нитритредуктазы, а никель – активатором для аспарагиназы. Кроме того, в Моховском угольном отвале никель может являться ингибитором инвертазы.

В соответствии с полученными результатами дальнейшая работа будет направлена на изучение состава аборигенной микрофлоры техногенных поверхностных образований исследованных территорий, микроорганизмов-деструкторов, ризобактерий и растений-гипераккумуляторов, которые в дальнейшем будут применяться на биологическом этапе рекультивации.

Список литературы

1. Фасхутдинова Е. Р., Осинцева М. А., Неверова О. А. Перспективы использования микробиома почв угольных отвалов с целью ремедиации антропогенно нарушенных экосистем. Техника и технология пищевых производств. 2021;51(4):883-904. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-883-904>
- Faskhutdinova E. R., Osintseva M. A., Neverova O. A. Prospects of Using Soil Microbiome of Mine Tips for Remediation of Anthropogenically Disturbed Ecosystems. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):883-904. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-883-904>
2. Асякина Л. К., Дышлюк Л. С., Просеков А. Ю. Мировой опыт в области рекультивации посттехногенных ландшафтов. Техника и технология пищевых производств. 2021;51(4):805-818. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-805-818>
- Asyakina L. K., Dyshlyuk L. S., Prosekov A. Yu. Reclamation of Post-Technological Landscapes: International Experience. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):805-818. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-805-818>
3. Фотина Н.В., Емельяненко В.П., Воробьева Е.Е., Бурова Н.В., Остапова Е.В. Современные биологические методы восстановления и очистки нарушенных угледобычей земель в условиях Кемеровской области – Кузбасса. Техника и технология пищевых производств. 2021;51(4):869-882. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-869-882>
- Fotina N. V., Emelianenko V. P., Vorob'eva E. E., Burova N. V., Ostapova E. V. Contemporary Biological Methods of Mine Reclamation in the Kemerovo Region – Kuzbass. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):869-882. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-869-882>
4. Симонова О. А., Чеглакова О. А. Влияние удобрений на содержание и динамику подвижных соединений меди и цинка в дерново-подзолистой почве. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(6):30-34. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/172>
- Simonova O. A., Cheglakova O. A. Influence of fertilizers on content and dynamics of mobile forms of copper and zinc in sod-podzolic soil. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(6):30-34. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/172>
5. Drozdova M. Yu., Pozdnyakova A. V., Osintseva M. A., Burova N. V., Minina V. I. The microorganism-plant system for remediation of soil exposed to coal mining. Foods and raw materials. 2021;9(2):406-418. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-406-418>

6. Myszyra M., Zukowska G., Kobylka A., Mazurkiewicz J. Enzymatic activity of soils forming on an afforested heap from an open-cast sulphur mine. *Forests*. 2021;12(11):1469. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12111469>
7. Assemien F. L., Cantarel A. A., Florio A., Lerondelle C., Pommier T., Gonnety J. T., Roux X. L. Different groups of nitrite-reducers and N₂O-reducers have distinct ecological niches and functional roles in West African cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 2019;129:39-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.003>
8. Fan L., Tarin M., Yangyang Z., Yongzhen H., Rong J., Xinhang C., Liguang C., Chengkun S., Yushan Z. Patterns of soil microorganisms and enzymatic activities of various forest types in coastal sandy land. *Global Ecology and Conservation*. 2021;28:e01625. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01625>
9. Sobat M., Asad S., Kabiri M., Mehrshad M. Metagenomic discovery and functional validation of L-asparaginases with anti-leukemic effect from the Caspian Sea. *iScience*. 2021;24(1):101973. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101973>
10. Yinping B., Feng L., Gang Y., Shengwei S., Faqin D., Mingxue L., Xiaoqin N., Jiangbo H. Meta-analysis of experimental warming on soil invertase and urease activities, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil and Plant Science*. 2018;68(2):104-109. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1375140>
11. Meyer W., Seiler T.B., Schwarzbauer J., Püttmann W., Hollert H., Achten C. Polar polycyclic aromatic compounds from different coal types show varying mutagenic potential, EROD induction and bioavailability depending on coal rank. *Sci. Total Environ.* 2014;494-495:320-328. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.140>
12. Mathew B., Singh H., Biju V., Beeregowda K. Classification, source and effect of environmental pollutants and its biodegradation. *Journal of Environmental Pathology. Toxicology and Oncology*. 2017;36(1):55-71. DOI: <https://doi.org/10.1615/JEnvironPatholToxicolOncol.2017015804>
13. Sun X., Ye Y., Guan Q., Jones D. L. Organic mulching masks rhizosphere effects on carbon and nitrogen fractions and enzyme activities in urban greening space. *J Soils Sediments*. 2021;21:1621-1632. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02900-7>
14. Liu X., Wang J., Wu L., Zhang L., Si Y. Impacts of silver nanoparticles on enzymatic activities, nitrifying bacteria, and nitrogen transformation in soil amended with ammonium and nitrate. *Pedosphere*. 2021;31(6):934-943. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(21\)60036-x](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(21)60036-x)
15. El-Gendy M., Awad M., Shawky F., El-Bondkly A. Production, purification, characterization, antioxidant and antiproliferative activities of extracellular L-asparaginase produced by *Fusarium equiseti* AHMF4. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021;28(4):2540-2548. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.01.058>
16. Саадалов Т., Мырзаibraимов Р. М., Абдуллаева Ж. Д. Методика расчета коэффициента корреляции Фехнера и Пирсона, и их области применения. *Бюллетень науки и практики*. 2021;7(10):270-276. DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71>
17. Saadalov T., Myrzaibraimov R. M., Abdullaeva Zh. D. Calculating procedure for the correlation coefficient of Fechner and Pearson and their application areas. *Bulletin of Science and Practice*. 2021;7(10):270-276. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71>
18. Тарасова Н. П., Осипов К. Ю., Осипова Н. А., Язиков Е. Г. Тяжелые металлы в почвах в районах воздействия угольных предприятий и их влияние на здоровье населения. *Безопасность в техносфере*. 2015;4(2):16-26. DOI: <https://doi.org/10.12737/11329>
19. Tarasova N. P., Osipov K. Yu., Osipova N. A., Yazikov E. G. Heavy metals in soils affected by coal enterprises and their impact on human health. *Bezopasnost' v tekhnosfere = Safety in Technosphere*. 2015;4(2):16-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/11329>
20. Хмелев В. А., Танасиенко А. А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы рационального их использования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 477 с.
21. Khmelev V. A., Tanasienko A. A. Soil resources of the Kemerovo region and the basics of its rational use. Novosibirsk: *Izd-vo SO RAN*, 2013. 477 p.
22. Borah P., Gujre N., Rene E. R., Rangan L., Paul R. K., Karak T., Mitra S. Assessment of mobility and environmental risks associated with copper, manganese and zinc in soils of a dumping site around a Ramsar site. *Chemosphere*. 2020;254:126852. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126852>
23. Сорокин А. Е., Савич В. И., Янькова А. А. Агроэкологическая оценка дерново-подзолистого почвенного профиля в зависимости от pH среды и комплексобразования. *Владимирский земледелец*. 2020;1(91):22-26. DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2020-10104>
24. Sorokin A. E., Savich V. I., Yankova A. A. Agricultural and ecological assessment of soddy-podzolic soil on nickel content depending on pH environmental conditions and complex formation. *Vladimirskiy zemledelets = Vladimir agriculturalist*. 2020;1(91):22-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2020-10104>
25. Natasha N., Shahid M., Bibi I., Iqbal J., Khalid S., Murtaza B., Bakha H. F., Farooq A. B. U., Amjad M., Hammad H. M., Niazi N. K., Arshad M. Zinc in soil-plant-human system: A data-analysis review. *Science of The Total Environment*. 2022;808:152024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152024>
26. Журавлева Н. В., Иванькина О. В., Исмагилов З. Р., Потоккина Р. Р. Содержание токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных месторождений Кемеровской области. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015;3:187-196. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23028484>
27. Zhuravleva N. V., Ivanykina O. V., Ismagilov Z. R., Potokina R. R. The content of toxic elements in overburden and enclosing rocks of coal deposits of the Kemerovo region. *Gornyy in-formatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2015;3:187-196. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23028484>

23. Angulo-Bejarano P. I., Puente-Rivera J., Cruz-Ortega R. Metal and Metalloid Toxicity in Plants: An Overview on Molecular Aspects. *Plants*. 2021;10(4):635-663. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10040635>
24. Hassan M., Chattha M., Khan I., Chattha M., Aamer M., Nawaz M., Ali A., Khan M., Khan T. Nickel toxicity in plants: Reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities – a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26:12673-12688. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04892-x>
25. Küpper H., Andresen E. Mechanisms of metal toxicity in plants. *Metallomics*. 2016;8(3):269-285. DOI: <https://doi.org/10.1039/c5mt00244c>
26. Malhotra S., Mishra V., Karmakar S., Sharma R. S. Environmental predictors of indole acetic acid producing rhizobacteria at fly ash dumps: nature-based solution for sustainable restoration. *Frontiers in Environmental Science*. 2017;5:59-70. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00059>
27. Gao S., Xiao Y., Xu F., Gao X., Cao S., Zhang F., Wang G., Sanders D., Chu C. Cytokinin-dependent regulatory module underlies the maintenance of zinc nutrition in rice. *New Phytol*. 2019;224(1):202-215. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15962>
28. Ahmad P., Alyemeni M. N., Wijaya L., Alam P., Ahanger M. A., Alam S. A. Jasmonic acid alleviates negative impacts of cadmium stress by modifying osmolytes and antioxidants in faba bean (*Vicia faba* L.). *Arch. Agron. Soil Sci.* 2017;63(13):1889-1899. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1313406>
29. Salam M., Kaipainen E., Mohsin M., Villa A., Kuittinen S., Pulkkinen P., Pelkonen P., Mehtätalo L., Pappinen A. Effects of contaminated soil on the growth performance of young *Salix* (*Salix schwerinii* E. L. Wolf) and the potential for phytoremediation of heavy metals. *Journal of Environmental Management*. 2016;183(3):467-477. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.082>
30. Ghazaryan H. K. A., Movsesyan H. S., Minkina T. M., Sushkova S. N., Rajput V. The identification of phytoextraction potential of *Melilotus officinalis* and *Amaranthus retroflexus* growing on copper- and molybdenum-polluted soils. *Environ. Geochem. Hlth.* 2021;43:1327-1335. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00338-y>

Сведения об авторах

✉ **Фролова Анна Сергеевна**, младший научный сотрудник лаборатории фиторемедиации техногенно нарушенных экосистем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», ул. Красная, д. 6, г. Кемерово, Российская Федерация, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3988-8521>, e-mail: flyflyflyflyfly.af@mail.ru

Переверзева Мария Константиновна, младший научный сотрудник лаборатории фиторемедиации техногенно нарушенных экосистем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», ул. Красная, д. 6, г. Кемерово, Российская Федерация, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5846-6557>

Асякина Людмила Константиновна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией фиторемедиации техногенно нарушенных экосистем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», ул. Красная, д. 6, г. Кемерово, Российская Федерация, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4988-8197>

Голубцова Юлия Владимировна, доктор технических наук, проректор по развитию имущественного комплекса, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», ул. Красная, д. 6, г. Кемерово, Российская Федерация, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2958-4172>

Осинцева Мария Алексеевна, кандидат технических наук, начальник управления проектной деятельностью, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», ул. Красная, д. 6, г. Кемерово, Российская Федерация, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-8054>

Information about the authors

✉ **Anna S. Frolova**, junior researcher, the Laboratory of Phytoremediation of Technogenically Disturbed Ecosystems, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, Russian Federation, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3988-8521>, e-mail: flyflyflyflyfly.af@mail.ru

Maria K. Pereverzeva, junior researcher, the Laboratory of Phytoremediation of Technogenically Disturbed Ecosystems, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, Russian Federation, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5846-6557>

Ludmila K. Asyakina, PhD in Engineering, Head of the Laboratory of Phytoremediation of Technogenically Disturbed Ecosystems, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, Russian Federation, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4988-8197>

Yulia V. Golubtsova, DSc in Engineering, vice-rector for the development of the property complex, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, Russian Federation, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2958-4172>

Maria A. Osintseva, PhD in Engineering, Head of the Department of Project Activity, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, Russian Federation, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-8054>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.548-554>

УДК 636.2.034: 636.082.2

Раннее прогнозирование интенсивности прироста живой массы у телят с использованием биохимических маркеров крови

© 2022. С. В. Николаев✉

Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, Российская Федерация

Цель исследований – определение перспективных биохимических маркеров крови, связанных с интенсивностью прироста живой массы у молодняка крупного рогатого скота. Работа проведена в 2021...2022 годах в условиях молочно-товарной фермы ООО «Северная Нива» Корткеросского района Республики Коми. Для эксперимента была отобрана группа новорожденных телок холмогорской породы ($n = 30$). Установлено, что в первые сутки после рождения телята с интенсивными показателями прироста имели более низкую активность АсАТ ($r = -0,510$) и концентрацию железа ($r = -0,650$) в сыворотке крови и, наоборот, более высокий уровень ВСНММ плазмы ($r = 0,626$). На более поздних сроках анализа, выраженная корреляция интенсивности увеличения массы тела наблюдалась в отношении активности щелочной фосфатазы: $-0,639$ и $-0,744$ на 7 и 14-й день соответственно. Определено, что многие расчетные коэффициенты, полученные при исследовании крови на 14-й день после рождения, имели более ощутимую корреляцию с интенсивностью роста. К таким маркерам относились: Щелочная фосфатаза/Кальций ($-0,746$), Щелочная фосфатаза/Магний ($-0,756$), Магний/Щелочная фосфатаза ($0,760$), Кальций×Фосфор/Щелочная фосфатаза ($0,758$) и Щелочная фосфатаза/(Кальций+Магний) ($-0,753$). На следующем этапе был проведен анализ скорости прироста живой массы у телок, ранжированных по увеличению значений разработанных коэффициентов. Доказано, что применение коэффициентов способствовало более выраженной дифференциации скорости прироста массы в сравнении со значениями, установленными с применением одной щелочной фосфатазы. Так, расчетный показатель Щелочная фосфатаза/Кальций/Магний на 1, 7 и 14-й день постнатального онтогенеза обеспечивал разницу между фенотипами 1-й и 3-й группы на 74,1 ($P \leq 0,05$), 92,6 ($P \leq 0,01$) и 90,7 ($P \leq 0,001$) г привеса в сутки, тогда как разница при использовании одной щелочной фосфатазы была на 33,3; 16,0 и 12,2 % меньше. Таким образом, применение указанных коэффициентов для прогнозирования скорости прироста живой массы у телят может повысить точность отбора животных с желаемым фенотипом в раннем постнатальном онтогенезе.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, фенотип, щелочная фосфатаза, кальций, магний, фосфор, отбор, подбор, селекция

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Института агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми НЦ УрО РАН (тема № FGMW 2019-0051) и проекта межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Николаев С. В. Раннее прогнозирование интенсивности прироста живой массы у телят с использованием биохимических маркеров крови. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):548-554.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.548-554>

Поступила: 17.05.2022

Принята к публикации: 29.06.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

The use of biochemical blood markers for early prediction of the intensity of live weight gain of calves

© 2022. Semyon V. Nikolaev✉

A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktuvkar, Komi Republic, Russian Federation

The aim of the research was to identify promising biochemical markers of blood associated with the intensity of live weight gain in young cattle. The work was carried out in 2021...2022 in the conditions of the dairy farm of LLC Severnaya Niva in the Kortkerossky district of the Komi Republic. A group of newborn heifers of the Kholmogorsky breed ($n = 30$) was selected for the experiment. It has been established that on the first day after birth, calves with intensive growth rates had lower AsAT activity ($r = -0.510$) and iron concentration ($r = -0.650$) in blood serum, and vice versa a higher level of SMLMM plasma (0.626). At later stages of the analysis, a pronounced correlation of the intensity of body weight gain was observed with respect to the activity of alkaline phosphatase: -0.639 and -0.744 on day 7 and 14, respectively. It was determined that many of the calculated coefficients obtained during the blood test on the 14th day after birth had a more noticeable correlation with the intensity of growth. Such markers included: Alkaline phosphatase/Calcium (-0.746), Alkaline phosphatase/Magnesium (-0.756), Magnesium/Alkaline Phosphatase (-0.760), Calcium×Phosphorus/Alkaline Phosphatase (0.758) and Alkaline Phosphatase/(Calcium+Magnesium) (-0.753). At the next stage, the analysis of the rate of live weight gain in

heifers ranked by the increase in the values of the developed coefficients was carried out. It is proved that the use of coefficients contributed to a more pronounced differentiation of the rate of weight gain in comparison with the values established with the use of one alkaline phosphatase. Thus, the calculated index of Alkaline phosphatase/Calcium/ Magnesium on the 1st, 7th and 14th days of postnatal ontogenesis provided a difference between the phenotypes of the 1st and 3rd groups by 74.1 ($P \leq 0.05$), 92.6 ($P \leq 0.01$) and 90.7 ($P \leq 0.001$) g of weight gain per day, whereas the difference when using one alkaline phosphatase was 33.3; 16.0 and 12.2 % less. Thus, the use of these coefficients to predict the rate of live weight gain in calves can increase the accuracy of the selection of animals with the desired phenotype in early postnatal ontogenesis.

Keywords: cattle, phenotype, alkaline phosphatase, calcium, magnesium, phosphorus, selection, choice, breeding

Acknowledgements: the work was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No. FGMW 2019-0051) and the project of the interregional world-class scientific and educational center «Russian Arctic: new materials, technologies and research methods».

The author thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the author declared no conflict of interest.

For citation: Nikolaev S. V. The use of biochemical blood markers for early prediction of the intensity of live weight gain of calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):548-554. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.548-554>

Received: 17.05.2022

Accepted for publication: 29.06.2022

Published online: 25.08.2022

Совершенствование хозяйственно полезных признаков у сельскохозяйственных животных является первостепенной задачей селекции. На современном этапе развития селекционной работы особую роль отводят маркерам, ассоциированным с фенотипическими признаками, из которых наиболее широкое применение получили молекулярно-генетические [1, 2]. Преимущество отбора и подбора животных, на основе маркерной селекции, состоит главным образом в раннем прогнозировании будущего фенотипа особи [3, 4]. Вместе с тем использование ДНК-маркеров имеет ряд недостатков, которые в первую очередь связаны с необходимостью проведения дорогостоящих исследований и наличия высокотехнологичного оборудования [5].

С точки зрения себестоимости и простоты определения, биохимические маркеры являются более доступными критериями оценки хозяйственной ценности животных [6]. Классически к данной группе относят маркеры биохимического состава крови. Стоит отметить, что биохимический профиль крови во многом зависит от физиологического состояния животного, границы варибельности которого детерминированы генетическим материалом [7, 8]. Тем не менее изменчивость ее состава также обусловлена внешними факторами среды, что отображает адаптационно-метаболическое состояние организма [9]. Это, в свою очередь, дает биохимическим маркерам явное преимущество для ведения селекционной работы в конкретных природно-климатических и хозяйственных условиях.

Цель исследований – выделить биохимические маркеры, ассоциированные с интенсивностью прироста живой массы у молодняка крупного рогатого скота.

Научная новизна работы заключается в выявлении закономерностей прироста живой массы у телят от биохимического профиля крови, что имеет практическую значимость для раннего отбора молодняка с необходимыми фенотипическими признаками.

Материал и методы. Работа выполнена в 2021-2022 годах в лаборатории иммунобиохимического анализа биологических объектов центра коллективного пользования «Агробιοтехнология» Вятской ГАТУ (г. Киров) и в отделе «Печорская опытная станция» Института агробιοтехнологий им. А. В. Журавского Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

На первом этапе экспериментальной работы в условиях молочно-товарной фермы ООО «Северная Нива» Корткеросского района Республики Коми была отобрана группа новорожденных телят (телок) холмогорской породы ($n = 30$). В первый день после рождения, на 7-й, 14-й и 21-й дни постнатального онтогенеза у молодняка брали венозную кровь для биохимических исследований. Химический состав сыворотки крови изучали на автоматическом анализаторе iMagic-V7, уровень общих иммуноглобулинов определяли путем осаждения белков сыворотки 18%-м раствором сернокислого натрия, концентрацию веществ средней и низкой молекулярной массы (ВСНММ) в цельной крови устанавливали преципитацией крупномолекулярных веществ 15%-м раствором трихлоруксусной кислоты с последующим центрифугированием и измерением оптической плотности супернатанта по методике М. Я. Малаховой [10] в авторской модификации. В день родов и через 6 месяцев выращивания у телок определяли живую массу, рассчитывали общий и среднесуточный прирост. На основании

полученных данных изучали корреляционные зависимости между темпами увеличения массы тела и биохимическими свойствами крови с использованием критерия Спирмена [11].

На втором этапе исследований также была отобрана группа телят ($n = 30$) и получена венозная кровь по вышеописанной методике. По истечении 6 месяцев животных ретроспективно разделили на три группы с использованием выделенных наиболее значимых биохимических маркеров и расчетных коэффициентов, затем проанализировали динамику прироста живой массы. В первую группу вошел молодняк с низкими цифровыми значениями биохимических показателей, во вторую – со средними, в третью – с высокими.

Статистический анализ проведен путем вычисления средней арифметической и стандартной ошибки, достоверность различий сравниваемых величин установлена с применением t -критерия Стьюдента [11].

Таблица 1 – Корреляция биохимических показателей крови со скоростью прироста живой массы у телят в первые шесть месяцев постнатального онтогенеза ($n = 30$) /

Table 1 – Correlation of blood biochemical parameters with the rate of live weight gain in calves in the first six months of postnatal ontogenesis ($n = 30$)

Показатель / Indicator	Дни взятия крови после рождения / Days of taking blood after birth				
	1	7	14	21	в среднем 7-21 / on average 7-21
Общий билирубин / Total bilirubin	-0,338	-0,022	0,130	-0,409	-0,188
Мочевина / Urea	0,226	-0,092	0,241	0,032	0,056
Щелочная фосфатаза / Alkaline phosphatase	-0,380	-0,639	-0,744	-0,495	-0,598
Общий белок / Total protein	0,131	0,088	0,330	0,140	0,185
Альбумины / Albumins	-0,252	-0,221	0,280	0,130	0,068
Глобулины / Globulins	0,257	0,109	0,294	0,123	0,172
Альбумины/глобулины / Albumins/globulins	-0,424	-0,129	-0,312	-0,089	-0,178
Глюкоза / Glucose	-0,213	-0,039	-0,099	0,376	0,091
Креатинин / Creatinine	0,070	-0,046	0,227	-0,453	-0,152
Кальций/ Calcium	0,339	-0,076	0,079	0,457	0,132
Магний / Magnesium	-0,074	0,197	-0,137	0,330	0,097
Фосфор / Phosphorus	-0,019	-0,433	-0,308	-0,278	-0,273
АлАТ / AlAT	-0,497	0,224	0,139	-0,198	0,010
АсАТ / AsAT	-0,510	0,157	-0,023	-0,107	0,029
Железо / Iron	-0,650	-0,049	-0,030	-0,485	-0,161
Цинк / Zinc	0,158	-0,289	0,054	0,039	0,006
Медь / Copper	-0,216	-0,449	0,093	-0,156	-0,146
Иммуноглобулины / Immunoglobulins	0,278	-0,016	0,221	0,224	0,122
ВСНММ плазмы / SMLMM plasma	0,626	0,207	0,046	-0,182	0,082
ВСНММ крови / SMLMM blood	0,385	0,268	0,107	0,128	0,175
АсАТ/АлАТ / AsAT/AlAT	0,097	-0,209	-0,355	-0,115	-0,178

Результаты и их обсуждение. Связь биохимических маркеров с интенсивностью прироста живой массы показана в таблице 1. Согласно проведенному анализу, можно констатировать, что в первые сутки после рождения телята с высокими показателями прироста имели низкую активность АсАТ (-0,510) и концентрацию железа (-0,650) в сыворотке крови и, наоборот, более высокий уровень ВСНММ в плазме (0,626). Тем не менее в более поздние сроки онтогенеза указанные маркеры не имели существенной связи с данным признаком. Наиболее выраженная (отрицательная) корреляция интенсивности увеличения массы тела наблюдалась в отношении активности щелочной фосфатазы. Так, на 7 и 14 день постнатального онтогенеза коэффициент составил -0,639 и -0,744 соответственно. В среднем между 7 и 21 днем после рождения, величина коэффициента равнялась -0,598 и была наибольшей в сравнении с коэффициентами корреляции других показателей.

Таким образом, можно заключить, что наиболее перспективным маркером прогнозирования интенсивности прироста живой массы у телят можно считать активность щелочной фосфатазы. Однако стоит понимать, что данный фермент представлен различными изоформами, активность которых варьирует в зависимости от физиологического или патологического состояния организма. С учетом того, что основная роль

данного фермента сводится к дефосфорилированию многих фосфорсодержащих соединений, была проведена оценка корреляций между интенсивностью увеличения живой массы и различными расчетными коэффициентами (разницы, отношения, произведения, суммирования) активности щелочной фосфатазы и показателей минерального и углеводно-белкового обмена. Результаты анализа даны в таблице 2.

Таблица 2 – Корреляционные зависимости расчетных коэффициентов биохимических показателей крови и скорости прироста живой массы у телят в первые шесть месяцев онтогенеза (n = 30) /
Table 2 – Correlations of individual coefficients of blood biochemical parameters and the rate of live weight gain in calves in the first six months of ontogenesis (n = 30)

Показатель / Indicator	Дни взятия крови после рождения / Days of taking blood after birth				
	1	7	14	21	в среднем 7-21 / on average 7-21
Фосфор×Щелочная фосфатаза / Phosphorus×Alkaline phosphatase	-0,316	-0,708	-0,710	-0,439	-0,540
Кальций×Щелочная фосфатаза / Calcium×Alkaline phosphatase	-0,238	-0,626	-0,728	-0,412	-0,558
Щелочная фосфатаза/Магний / Alkaline phosphatase/Magnesium	-0,448	-0,618	-0,756	-0,561	-0,601
Щелочная фосфатаза/Кальций / Alkaline phosphatase/Calcium	-0,470	-0,628	-0,746	-0,562	-0,621
Щелочная фосфатаза/Кальций/Магний / Alkaline phosphatase/Calcium/Magnesium	-0,536	-0,600	-0,742	-0,619	-0,618
Щелочная фосфатаза/(Кальций+Магний) / Alkaline phosphatase/(Calcium+Magnesium)	-0,469	-0,631	-0,753	-0,567	-0,621
Альбумины/Щелочная фосфатаза / Albumins/Alkaline phosphatase	0,144	0,655	0,715	0,428	0,538
Общий белок/Щелочная фосфатаза / Total protein/Alkaline phosphatase	0,349	0,661	0,727	0,443	0,575
Общие глобулины/Щелочная фосфатаза / Globulins/Alkaline phosphatase	0,315	0,523	0,620	0,388	0,503
Глюкоза/ Щелочная фосфатаза / Glucose/Alkaline phosphatase	0,343	0,548	0,547	0,613	0,547
Мочевина/Щелочная фосфатаза / Urea/Alkaline phosphatase	0,343	0,305	0,549	0,445	0,398
Кальций/Щелочная фосфатаза / Calcium/Alkaline phosphatase	0,386	0,660	0,690	0,483	0,570
Магний/Щелочная фосфатаза / Magnesium/Alkaline phosphatase	0,383	0,714	0,760	0,462	0,590
Фосфор/Щелочная фосфатаза / Phosphorus/Alkaline phosphatase	0,372	0,389	0,727	0,213	0,359
Кальций/Фосфор/ Щелочная фосфатаза / Calcium/Phosphorus /Alkaline phosphatase	0,331	0,648	0,592	0,447	0,528
Кальций×Фосфор/Щелочная фосфатаза / Calcium×Phosphorus /Alkaline phosphatase	0,506	0,661	0,758	0,528	0,612
(Кальций+Магний)/Щелочная фосфатаза / (Calcium+ Magnesium)/Alkaline phosphatase	0,385	0,679	0,719	0,481	0,581
(Кальций-Магний)/Щелочная фосфатаза / (Calcium- Magnesium)/Alkaline phosphatase	0,386	0,612	0,620	0,479	0,536

Установлено, что многие расчетные коэффициенты имели более ощутимую корреляцию с динамикой прироста, в отличие от значений, полученных при использовании одной щелочной фосфатазы. Так корреляция скорости роста и коэффициента Щелочная фосфатаза/Кальций на 14 день постнатального онтогенеза составила -0,746, а показателя Щелочная фосфатаза/Магний равнялась -0,756. Наибольший коэффициент корреляции (0,760) установлен при расчете коэффициента Магний/Щелочная фосфатаза. Также, наиболее

перспективными, с учетом полученных результатов, были следующие коэффициенты: Кальций×Фосфор/Щелочная фосфатаза (0,758) и Щелочная фосфатаза/(Кальций+Магний) (-0,753).

На следующем этапе был проведен анализ скорости прироста живой массы телок, ранжированных по увеличению значений разработанных коэффициентов. Для этого показатели среднесуточного прироста телят разделили на 3 группы (по 10 в каждой) в зависимости от биохимического профиля крови. Результаты анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Динамика прироста живой массы у телят с различным биохимическим профилем крови, г (n = 10 в каждой) /
Table 3 – Dynamics of live weight gain in calves with different biochemical blood profile, g (n = 10 in each)

Группа / Group	Среднесуточный прирост / Average daily increase				Группа / Group	Разница в приросте между группами / Difference in growth between groups			
	дни взятия крови после рождения / days of taking blood after birth					дни взятия крови после рождения / days of taking blood after birth			
	1	7	14	21		1	7	14	21
Щелочная фосфатаза / Alkaline phosphatase									
1	724,1±13,9	711,1±14,4	711,1±15,5	711,1±12,4	1-2	63,0*	1,8	11,1	16,7
2	661,1±17,8	709,3±16,8	700,0±13,9	694,4±19,0	2-3	-7,4	76,0**	68,5**	46,3
3	668,5±20,1	633,3±14,6	631,5±13,5	648,1±20,8	1-3	55,6*	77,8**	79,6**	63,0*
Щелочная фосфатаза/Магний / Alkaline phosphatase/Magnesium									
1	724,1±13,9	716,7±15,7	714,8±13,2	709,3±11,8	1-2	38,9	13,0	18,5	13,0
2	685,2±15,5	703,7±15,3	696,3±15,7	696,3±19,6	2-3	40,7	70,4**	64,8*	48,1
3	644,4±19,3	633,3±14,6	631,5±13,5	648,1±20,8	1-3	79,6**	83,3**	83,3**	61,1*
Щелочная фосфатаза/Кальций / Alkaline phosphatase/Calcium									
1	718,5±13,0	722,2±15,0	713,0±14,3	711,1±12,4	1-2	27,8	24,1	24,1	16,7
2	690,7±17,7	698,1±15,1	688,9±14,8	694,4±19,0	2-3	46,3	64,8*	48,1	46,3
3	644,4±19,3	633,3±14,6	640,7±18,1	648,1±20,8	1-3	74,1*	88,9**	72,2*	63,0*
Щелочная фосфатаза/Кальций/Магний / Alkaline phosphatase/Calcium/Magnesium									
1	718,5±13,0	725,9±15,7	722,2±9,7	709,3±11,8	1-2	27,8	31,5	33,3	13,0
2	690,7±17,7	694,4±13,4	688,9±16,6	696,3±19,6	2-3	46,3	61,1*	57,4*	48,1
3	644,4±19,3	633,3±14,6	631,5±13,5	648,1±20,8	1-3	74,1*	92,6**	90,7***	61,1*
Щелочная фосфатаза/(Кальций+Магний) / Alkaline phosphatase/(Calcium+Magnesium)									
1	718,5±13,0	722,2±15,0	713,0±14,3	711,1±12,4	1-2	27,8	24,1	14,8	16,7
2	690,7±17,7	698,1±15,1	698,1±14,9	694,4±19,0	2-3	46,3	64,8*	66,7**	46,3
3	644,4±19,3	633,3±14,6	631,5±13,5	648,1±20,8	1-3	74,1*	88,9**	81,5**	63,0*
Кальций×Фосфор/Щелочная фосфатаза / Calcium×Phosphorus/Alkaline phosphatase									
1	640,7±19,6	668,5±15,4	650,0±22,4	664,8±21,5	1-2	-46,3	-22,2	-29,6	-22,2
2	687,0±14,7	690,7±19,7	679,6±15,8	687,0±22,2	2-3	-38,9	-3,7	-42,6*	-14,8
3	725,9±12,1	694,4±23,5	722,2±9,7	701,9±15,5	1-3	-85,2**	-25,9	-72,2*	-37,0

Примечание: Различия достоверны при сравнении указанных групп при *P≤0,05, **P≤0,01, ***P≤0,001 /

Note: The differences are significant when comparing these groups *P≤0.05, **P≤0.01, ***P≤0.001

Установлено, что применение коэффициентов способствовало более точной дифференциации скорости прироста живой массы в сравнении со значениями, полученными с применением одной лишь щелочной фосфатазы. Так, использование в качестве маркера коэффициента Щелочная фосфатаза/Кальций/Магний на 1, 7 и 14 день постнатального онтогенеза обеспечивало разницу между фенотипами 1-й и 3-й группы на 74,1 ($P \leq 0,05$), 92,6 ($P \leq 0,01$) и 90,7 ($P \leq 0,001$) г в сутки, тогда как полученная разница с применением одной щелочной фосфатазы была на 33,3; 16,0 и 12,2 % меньше. Наиболее высокая разница в приросте при исследовании крови в первый день жизни была установлена с использованием коэффи-

циента Кальций×Фосфор/Щелочная фосфатаза -85,2 г ($P \leq 0,01$).

Заключение. Динамика прироста живой массы у телят в большей степени коррелирует с активностью щелочной фосфатазы в сыворотке крови, при этом расчетные коэффициенты, учитывающие особенности минерального обмена, имеют более ощутимую связь с данным признаком. Использование указанных коэффициентов для прогнозирования скорости прироста живой массы у телят может повысить точность отбора животных с желаемым фенотипом в раннем постнатальном онтогенезе. Полученные данные показали, что оптимальным периодом для данных исследований является 7-14-дневный возраст телят.

Список литературы

1. Костомахин Н. М., Хованкина А. В. Изучение генома различных пород крупного рогатого скота путем сравнительного анализа спектров продуктов амплификации ДНК. Главный зоотехник. 2016;(11):16-25.
2. Матюков В. С., Зайнуллин В. Г., Жариков Я. А., Канева Л. А. Элементарный анализ ассоциаций генетических маркеров с полигенными признаками в популяции крупного рогатого скота. Известия Коми научного центра УрО РАН. 2021;(1(47)):45-58. DOI: <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-1-45-58>
3. Юдин Н. С., Воевода М. И. Молекулярно-генетические маркеры экономически важных признаков у молочного скота. Генетика. 2015;(5):600-612. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675815050082>
4. Сыромятников М. Ю., Михайлов Е. В., Пасько Н. В., Шабунин Б. В., Ермакова Т. И., Стребкова В. В., Стрельников Н. А., Голубцов А. В., Перегончий А. Р., Саврасова Н. П. Гены, повышающие устойчивость к маститу. Ветеринарный фармакологический вестник. 2020;(4(13)):177-191. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2020.4.177>
5. Яковлев А. Ф., Смарагдов М. Г., Матюков В. С. ДНК-технологии в селекции сельскохозяйственных животных. Достижения науки и техники АПК. 2011;(8):49-51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16690836>
6. Жариков Я. А. Биохимические показатели крови овцематок на первом месяце лактации и их связь с молочной продуктивностью. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;(3):409-417. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.409-417>
7. Жариков Я. А., Канева Л. А. Активность щелочной фосфатазы сыворотки крови баранчиков в связи с возрастом и интенсивностью роста. Генетика и разведение животных. 2021;(1):9-16. DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2021-1-9-16>
8. Baimishev M., Baimishev H., Yeregin S., Plemyashov K., Konopeltsev I. Markers of lipid metabolism and antioxidant system of organisms of cows depending on their physiological state. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, Interagromash 2019. 2019:403(1);012013. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012013>
9. Николаев С. В. Особенности изменений биохимического состава крови у телят в раннем постнатальном онтогенезе. Международный вестник ветеринарии. 2020;(4):165-169. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44402170>
10. Степанова И. П., Дмитриева Л. М., Зайнчковский В. И. Биохимический метод оценки эндогенной интоксикации у коров. Ветеринария. 2004;(7):35-39.
11. Меркурьева Е. К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1970. 330 с.

References

1. Kostomakhin N. M., Khovankina A. V. The study of the genome of different cattle breeds by comparative analysis of the spectra of amplification products of dna. *Glavnyy zootekhnik*. 2016;(11):16-25. (In Russ.).
2. Matyukov V. S., Zaynullin V. G., Zharikov Ya. A., Kaneva L. A. Elementary analysis of associations of genetic markers with polygenic traits in the cattle population. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN = Proceedings of the Komi science centre Ural branch Russian academy of sciences*. 2021;(1(47)):45-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-1-45-58>

3. Yudin N. S., Voevoda M. I. Molecular genetic markers of economically important traits in dairy cattle. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2015;(5):600-612. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675815050082>
4. Syromyatnikov M. Yu., Mikhaylov E. V., Pasko N. V., Shabunin B. V., Ermakova T. I., Strebkova V. V., Strelnikov N. A., Golubtsov A. V., Peregonchiy A. R., Savrasova N. P. Genes increasing resistance to mastitis. *Veterinarnyy farmakologicheskiy vestnik* = Bulletin of veterinary pharmacology. 2020;(4(13)):177-191. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2020.4.177>
5. Yakovlev A. F., Smaragdov M. G., Matyukov V. S. DNA-technology in selection of agricultural animals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2011;(8):49-51. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16690836>
6. Zharikov Y. A. Biochemical blood values of ewes in the first month of lactation and their relation to milk productivity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(3):409-417. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.409-417>
7. Zharikov Y. A., Kaneva L. A. Activity of alkaline phosphatase in male lamb blood serum in relation to age and growth rate. *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2021;(1):9-16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2021-1-9-16>
8. Baimishev M., Baimishev H., Yeremin S., Plemyashov K., Konopeltsev I. Markers of lipid metabolism and antioxidant system of organisms of cows depending on their physiological state. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, Interagromash 2019. 2019:403(1);012013. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012013>
9. Nikolaev S. V. Features of changes in the biochemical composition of calves' blood in early postnatal ontogenesis. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii* = International Bulletin of Veterinary Medicine. 2020;(4):165-169. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44402170>
10. Stepanova I. P., Dmitrieva L. M., Zaynchkovskiy V. I. Biochemical method of estimation of endogenous intoxication in cows. *Veterinariya* = Veterinary. 2004;(7):35-39. (In Russ.).
11. Merkur'eva E. K. Biometrics in breeding and genetics of agricultural animals. Moscow: *Kolos*, 1970. 330 p.

Сведения об авторе

Николаев Семен Викторович, кандидат вет. наук, научный сотрудник отдела «Печорская опытная станция» Института агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Российская Федерация, 167023, e-mail: nipti@bk.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5485-4616>, e-mail: semen.nikolaev.90@mail.ru

Information about the author

Semyon V. Nikolaev, PhD of Veterinary Sciences, researcher, the Department "Pechora Experimental Station", A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 27 Rucheynaya str., Syktывkar, Russian Federation, 167023, e-mail: nipti@bk.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5485-4616>, e-mail: semen.nikolaev.90@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.555-561>

УДК 637.11



Оценка эргономичности труда операторов машинного доения, работающих на установках «Карусель»

© 2022. Ю. А. Цой, В. В. Кирсанов, Р. А. Мамедова✉

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Рассматривается оценка часовой и сменной энергоемкости работы оператора на роторных доильных установках с внутренним доением (по типу «Елочка») с подключением доильных стаканов сбоку и на установках с внешним доением с подключением доильных стаканов сзади (по типу «Параллель»). Целью исследования является определение показателей эргономичности и энергоемкости производительности труда операторов машинного доения на доильных установках роторного типа. Рассмотрены условия, влияющие на производительность работы оператора по доению. Представлены расчеты для определения показателей эргономичности и энергоемкости труда операторов машинного доения. Данные были получены эмпирическим путем с помощью метода хронометражных наблюдений за работой операторов в доильном зале и принципов системного подхода. Суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены с рабочей поверхности, превышена для мужчин (норма не более 870 кг) и существенно превышена для женщин (норма не более 350 кг) и составляет 644...1380 кг на Milkline (внешняя) при условии, что на подключении доильного аппарата работает один оператор. Суммарная масса грузов превышена и у женщин-операторов на «Каруселях» AutoRotor 40 (внешняя) и AutoRotor 60 (внешняя) и составляет соответственно 653 и 575 кг на одного оператора. Норма величины статической нагрузки за смену при удержании груза и приложении усилий одной рукой для мужчин – не более 353,0 кН·с, для женщин – не более 215,7 кН·с. На установках Milkline (внешняя) величина статической нагрузки составляет 212,4...455,0 кН·с при работе одного оператора на подключении доильного аппарата, при этом верхний предел существенно превышен как для мужчин, так и особенно для женщин.

Ключевые слова: производительность труда, энергоемкость операций, доильный стакан, статическая нагрузка, ритм потока, частота движений

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № 0581-2022-0009).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Цой Ю. А., Кирсанов В. В., Мамедова Р. А. Оценка эргономичности труда операторов машинного доения на доильных установках «Карусель». Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):555-561.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.555-561>

Поступила: 27.04.2022

Принята к публикации: 01.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Evaluation of labor ergonomics of machine milking operators working at milking machines «Carousel»

© 2022. Yuriy A. Tsoy, Vladimir V. Kirsanov, Ravza A. Mamedova✉

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The article shows the assessment of the hourly and shift energy intensity of the operator's work on rotary milking machines with internal milking (of the "Herringbone" type) with the connection of teat cups on the side and on installations with external milking with the connection of teat cups at the back (of the "Parallel" type). The purpose of the study is to determine the indicators of ergonomics and energy intensity of labor productivity of machine milking operators working on rotary milking machines. The conditions that affect the labor productivity of the milking operator are considered. Calculations are presented to determine the indicators of ergonomics and energy intensity of labor of machine milking operators. The data were obtained empirically using the method of chronometric observations of the work of operators in the milking parlor and the principles of a systematic approach. The total mass of loads moved during each hour of the shift from the working surface is exceeded for men (the normal value is not more than 870 kg) and significantly exceeded for women (the normal value is not more than 350 kg) and is 644...1380 kg on Milkline (external) provided that one operator works at the connecting of the milking machine. The total mass of loads is also exceeded for female operators on the AutoRotor 40 (external) and AutoRotor 60 (external) «Carousels» and amounts to 653 kg and 575 kg per operator, respectively. The normal value of the static load per shift

when holding the load and applying efforts with one hand for men - not more than 353.0 kN·s, for women – not more than 215.7 kN·s. On Milkline installations (external) it is 212.4...455.0 kN·s when one operator works at the connecting of the milking machine, while the upper limit is significantly exceeded for both men and especially women.

Keywords: labor productivity, energy intensity of operations, teat cup, static load, flow rhythm, frequency of movements

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. 0581-2022-0009).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: The authors stated no conflict of interest.

For citations: Tsoy Yu. A., Kirsanov V. V., Mamedova R. A. Evaluation of labor ergonomics of machine milking operators working at milking machines «Carousel». *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):555-561. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.555-561>

Received: 27.04.2022

Accepted for publication: 01.07.2022

Published online: 25.08.2022

В современных доильных залах вращающегося типа нагрузка на оператора бывает довольно значительной, ему приходится совершать частые движения по обслуживанию животных, обтиранию сосков, сдаиванию первых струек, подключению доильных аппаратов в течение длительного времени 8-10 часов в смену, что вызывает физическую усталость и информационную перегруженность [1, 2, 3].

В работах А. Nayati, А. Marzban и М. А. Asoodar [4, 5, 6] рассмотрено влияние окружающей среды на работу оператора при доении в доильном зале типа «Елочка», а также о приемлемом комфорте и безопасности с учетом более высокой пропускной способности и большего размера дойного стада. Значительное влияние на физическую нагрузку оператора оказывают производительность, интенсивность операций и рабочая высота [8, 9].

Затраты труда оператора в зависимости от производительности на разных уровнях механизации машинного доения в доильных залах типа «Елочка» [10, 11], нагрузка на оператора и положение рабочей позы в зависимости от типа планировки доильного зала [12].

Монотонные операции, выполняемые при подготовке животного к доению и во время самого процесса доения, несомненно, в будущем будут выполняться роботами. Вопрос лишь в высокой стоимости, на сегодняшний день, роботизированных технологий. В этой связи заслуживает внимания анализ эргономики труда операторов машинного доения, задействованных на высокопроизводительных конвейерно-кольцевых доильных установках. Чем выше производительность труда, тем выше ритм потока и частота движений, совершаемых оператором [11, 12, 13]. В литературе не уделяется достаточного внимания оценке эргономич-

ности труда оператора [14, 15], считается, что на автоматизированных установках работать легче, однако для этого необходимо оценить полную работу, выполняемую оператором, которая включает обработку сосков, перемещение доильного аппарата к вымени, удержание подвесной части рукой оператора и поочередное подключение доильных стаканов.

Цель исследования – определение показателей эргономичности и энергоёмкости труда операторов машинного доения на доильных установках роторного типа различной производительности.

Новизна исследования – впервые проведен сравнительно-аналитический анализ труда операторов машинного доения с оценкой вариантов обслуживания по эргономичности и энергоёмкости на доильных установках роторного типа различной производительности.

Материал и методы. Исследования труда операторов машинного доения в доильных залах роторного типа, проведенные в 2021-2022 годах, основывались на общих методах и методиках по оценке эргономичности труда человека с учетом принципов системного подхода и теоретических положений^{1, 2}. Данные были получены эмпирическим путем с помощью метода хронометражных наблюдений за работой операторов в доильном зале.

Полная работа, выполняемая оператором машинного доения на доильных установках, определяется суммой следующих составляющих:

$$A_{\text{оп}} = A_{\text{ос}} + A_{\text{п}} + A_{\text{уд}} + A_{\text{дс}}, \quad (1)$$

где $A_{\text{оп}}$ – полная работа оператора, Дж;

$A_{\text{ос}}$ – по обработке сосков;

$A_{\text{п}}$ – по перемещению доильного аппарата к вымени; $A_{\text{уд}}$ – по удерживанию подвесной части рукой оператора; $A_{\text{дс}}$ – по подключению доильных стаканов поочередно.

¹Фех А. И. Эргономика: учебное пособие. Томск: изд-во ТПУ, 2014. 119 с.

²Чепелев Н. И., Орловский С. Н., Щекин А. Ю. Основы эргономики и безопасность труда: учеб. пособие. Красноярск, 2018. 253 с.

Как известно, механическая работа (А) определяется как произведение силы (F) на перемещение (S):

$$A = F \cdot S. \quad (2)$$

Аналогичным образом можно приближенно определить работу, совершаемую человеком при подключении доильных аппаратов:

$$A_{\Pi} = m_{\text{ДА}} \cdot g \cdot S; \quad (3)$$

$$A_{\text{ДС}} = 4m_{\text{ДС}} \cdot g \cdot h,$$

где $m_{\text{ДА}}$ – масса подвесной части доильного аппарата (равна 2,6 кг); $m_{\text{ДС}}$ – масса доильного

стакана (равна 0,5 кг); S – расстояние горизонтального перемещения подвесной части (для доильных установок «Елочка» $S \approx 1$ м, «Параллель» и «Карусель» с внешним доением $S \approx 0,5$ м); h – расстояние вертикального перемещения доильных стаканов для всех установок $h \approx 0,2$ м.

Результаты и их обсуждение. Данные видеохронометража работы операторов машинного доения на установках «Карусель» представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные видеохронометража работы операторов на доильных установках «Карусель» /
Table 1 – Video timing data on rotor milking machines «Carousel»

Показатель / Indicator	Тип доильной установки «Карусель» / Type of rotor milking machine			
	Milkline	AutoRotor 40	AutoRotor 40	AutoRotor 60
Подключение доильных аппаратов / Connection of milk unit	Сзади / Behind	Сбоку / Side	Сзади / Behind [4, 5]	Сзади / Behind
Количество операторов, чел. / Number of operators, person	3	3	3	2
Производительность, кор/ч / Productivity, cow/hour	140...300	100...140	142	250
Обтирание сосков перед доением, с / Wiping the nipples before milking, sec	5...6	-	5...6	-
Количество движений / Number of movements	8-9	-	4-5	-
Подключение доильного аппарата, с / Connection of milk unit, sec	8...9	-	6...8	-
Количество движений / Number of movements	14-15	-	6	-
Обработка сосков и подключение доильного аппарата, с / Wiping nipple and connection of milk unit, sec	-	12...13	-	10...12
Количество движений / Number of movements	-	14-15	-	12-13
Обработка сосков после доения, с / Wiping the nipples after milking, sec	4...5	4...5	4...5	-
Количество движений / Number of movements	4-5	4-5	4-5	-

С учетом данных таблицы 1, величины энергоемкости операций в выражении (3) для установок «Карусель» при доении внутри (по типу «Елочка» – $A_{\Pi}^{\text{в}}$) и снаружи (по типу «Параллель» – $A_{\Pi}^{\text{с}}$) запишется:

$$A_{\Pi}^{\text{в}} = m_{\text{ДА}} \cdot g \cdot S = 2,6 \cdot 9,8 \cdot 1 = 25,5 \text{ Дж};$$

$$A_{\Pi}^{\text{с}} = 2,6 \cdot 9,8 \cdot 0,5 = 12,75 \text{ Дж}; \quad (4)$$

$$A_{\text{ДС}} = 4m_{\text{ДС}} \cdot g \cdot h = 4 \cdot 0,5 \cdot 9,8 \cdot 0,2 = 3,92 \text{ Дж}.$$

Полагая с небольшим допущением равенство работ по удержанию подвесной части и подключению доильных стаканов ($A_{\text{УД}} = A_{\text{ДС}}$), а также обтиранию сосков и подключению доильных стаканов ($A_{\text{ОС}} = A_{\text{ДС}}$), выражение (1) примет вид:

$$A_{\text{ОП}}^{\text{в}} = A_{\text{ОС}} + A_{\Pi} + A_{\text{УД}} + A_{\text{ДС}} = A_{\Pi} + 3A_{\text{ДС}};$$

$$A_{\text{ОП}}^{\text{в}} = m_{\text{ДА}} \cdot g \cdot S + 3 \cdot (4 \cdot m_{\text{ДС}} \cdot g \cdot h) =$$

$$= 25,5 + 3 \cdot 3,92 = 37,26 \text{ Дж};$$

$$A_{\Pi}^{\text{с}} = 12,75 + 3 \cdot 3,92 = 24,51 \text{ Дж}. \quad (5)$$

Учитывая, что работа операторов по обработке сосков на установках с внутренним и внешним доением мало отличается друг от друга, их можно приравнять:

$$A_{\text{ОП1}}^{\text{в}} = A_{\text{ОП1}}^{\text{с}} = A_{\text{ОС}} = 3,92 \text{ Дж}.$$

При разделении труда между операторами по обработке сосков (1-й оператор) и подключению доильных стаканов (2-й оператор) выражения (5) перепишутся:

$$A_{\text{ОП2}}^{\text{в}} = A_{\Pi} + A_{\text{УД}} + A_{\text{ДС}} = A_{\Pi} + 2A_{\text{ДС}} =$$

$$= 25,5 + 2 \cdot 3,92 = 33,34 \text{ Дж}; \quad (6)$$

$$A_{\text{ОП2}}^{\text{с}} = 12,75 + 2 \cdot 3,92 = 20,59 \text{ Дж}.$$

Как видно, первый оператор на обеих установках выполняет значительно меньшую работу, чем второй, а третий, обрабатывая соски после доения, загружен примерно также, как первый ($A_{\text{ОП1}} \approx A_{\text{ОП3}}$). Таким образом,

суммарная работа трех операторов по обслуживанию одной коровы (A_{Σ}) будет равна соответственно: на доильной установке с внутренним доением по типу «Елочка» ($37,26 + 3,92 = 41,18$ Дж) и с внешним по типу «Параллель» ($24,51 + 3,92 = 28,43$ Дж).

Расчет суммарной часовой ($\mathcal{E}_{\Sigma}^e$) и сменной ($\mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{см}}$) энергоемкости труда операторов при работе на доильных установках «Карусель» (AutoRotor 40) с внутренним доением можно определить по следующим выражениям:

$$\mathcal{E}_{\Sigma}^e = A_{\Sigma}^e \cdot Q_{\Sigma}^e = 41,18 \cdot [100 \dots 140] = 4118 \dots 5765 \text{ Дж}; \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{см}} = A_{\Sigma}^e \cdot Q_{\Sigma}^e T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см}} = [4118 \dots 5765] \cdot 8 \cdot [0,85 \dots 0,90] = 28826 \dots 40355 \text{ Дж},$$

где $[100 \dots 140]$ – примерная вариабельность параметра часовой производительности роторной установки с внутренним доением коров по типу «Елочка», кор/ч; $T_{\text{см}}$, $k_{\text{см}}$ – соответственно продолжительность (8 ч) и коэффициент использования времени смены $[0,85 \dots 0,90]$.

Аналогичным образом проведен расчет суммарной часовой ($\mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{II}}$) и сменной ($\mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{II см}}$)

энергоемкости труда при работе на доильной установке «Карусель» (Milkline) с внешним доением при варьировании производительности $[140 \dots 300 \text{ кор/ч}]$:

$$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{II}} = A_{\Sigma}^{\text{II}} \cdot Q_{\Sigma}^{\text{II}} = 28,43 \cdot [140 \dots 300] = 3980 \dots 8529 \text{ Дж}; \quad (8)$$

$$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{II см}} = A_{\Sigma}^{\text{II}} \cdot Q_{\Sigma}^{\text{II}} T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см}} [3980 \dots 8529] \cdot 8 \cdot [0,85 \dots 0,90] = 27860 \dots 59703 \text{ Дж}.$$

Умножая на часовую производительность соответствующей доильной установки, можно оценить часовую и сменную энергоемкость работы (табл. 2), выполняемой каждым оператором на роторных доильных установках с внутренним доением (по типу «Елочка») с подключением доильных стаканов сбоку и на установках с внешним доением с подключением доильных стаканов сзади (по типу «Параллель»).

С учетом данных таблицы 1 и распределения операций по операторам по приведенным выше формулам, определены количество движений за час и за смену. Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Энергоемкость труда операторов машинного доения на доильных установках «Карусель» /
Table 2 – Energy intensity of labor of machine milking operators working at rotor milking machines «Carousel»

Тип доильной установки «Карусель» / Type of rotor milking machine «Carousel»	Оператор / Operator	Энергоемкость, Дж / Energy intensity, J		Количество движений / Number of movements	
		часовая / hourly	сменная / shift	за 1 час / in 1 hour	за смену / per shift
Milkline (внешняя / external 140...300 кор/ч / cow/hour)	Первый / The first	549...1176	3843...8232	1190...2550	9520...20400
	Второй / Second	2883...6177	20181...43239	840...1800	6720...14400
	Третий / Third	549...1176	3843...8232	700...1500	5600...12000
AutoRotor 40 (внутренняя / internal 100...140 кор/ч / cow/hour)	Первый / The first	1863...2608	13041...18256	725...1015	5800...8120
	Второй / Second	1863...2608	13041...18256	725...1015	5800...8120
	Третий / Third	392...549	3334...4668	450...630	3600...5040
AutoRotor 40 (внешняя / external, 142 кор/ч / cow/hour по данным / according to the data [4, 5])	Первый / The first	557	3899	1207	9656
	Второй / Second	2924	20468	852	6816
	Третий / Third	557	3899	639	5112
AutoRotor 60 (внешняя / external, 250 кор/ч / cow/hour)	Первый / The first	3064	21448	1562	12500
	Второй / Second	3064	21448	1562	12500

Допустимые нормы физической нагрузки на человека по Российским стандартам^{3, 4, 5}.

³Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: утв. и введен в действие Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 29 июля 2005 г. Бюллетень нормативной и методической документации Госсанэпиднадзора. 2005. №21. [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=92758> (дата обращения: 18.02.2022).

⁴Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению: Утверждена и введена в действие приказом Министра труда и социальной защиты российской Федерации от 24 января 2014 г. №33н. [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=369213> (дата обращения: 03.03.2022).

⁵СанПиН 2.2.0.555-96. Гигиенические требования к условиям труда женщин: утверждены и введены в действие Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 28 октября 1996 года №32. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1400016> (дата обращения: 28.02.2022).

1. Физическая нагрузка за рабочую смену при региональной нагрузке (с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса) при перемещении груза на расстояние до 1 м:

- для мужчин – 50000 Дж;
- для женщин – 30000 Дж.

2. Суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены с рабочей поверхности:

- для мужчин, не более 870 кг;
- для женщин, не более 350 кг.

3. Стереотипные рабочие движения (при региональной нагрузке с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса):

- количество за смену не более 20000.

4. Величина статической нагрузки за смену при удержании груза, приложении усилий одной рукой:

- для мужчин 353,0 кН·с;
- для женщин 215,7 кН·с.

5. Рабочая поза – нахождение в позе стоя не более 60 % времени смены.

Суммарную массу грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены одним оператором на каждом типе установки, определяли путем умножения массы перемещаемой подвесной части доильного аппарата к вымени и доильных стаканов к соскам по отдельности на производительность оператора (табл. 3). С небольшим допущением массу доильного аппарата и стаканов принимали одинаковой для всех типов установок:

$$M_{\Sigma i} = (m_{\text{ДА}i} + 4 \cdot m_{\text{ДС}i}) \cdot Q_{\text{оп}i}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{оп}}$ – производительность оператора (на доильной установке типа «Карусель» с внутренним доением при работе двух операторов на подключении – 50...70 кор/ч, двух операторов на подключении AutoRotor 60 (внешняя) – 125 кор/ч.

В том случае, если работает один оператор на подключении доильных аппаратов, то масса доильного аппарата умножается на производительность всей установки. Массу грузов, перемещаемых другими операторами по обработке сосков (салфетки, стаканчики с раствором), условно не считали ввиду их незначительной массы.

Величину статической нагрузки за смену при удержании груза, приложении усилий (кН·с) одной рукой определяли по выражению:

$$F_{\text{СТ}} = m_{\text{ДА}} \cdot t_{\text{уд}} \cdot Q_{\text{оп}} \cdot T_{\text{СМ}}. \quad (10)$$

Произведем расчет на примере для Milkline (внешняя): $m_{\text{ДА}} = 2,6$ кг, $t_{\text{уд}} = 8-9$ сек, работает один оператор на подключении, значит $Q_{\text{оп}} = 140 \dots 300$ кор./ч, $T_{\text{СМ}} = 8$ ч, $k_{\text{СМ}} = 0,85 \dots 0,90 = 0,875$.

Таким образом получаем:

$$F_{\text{СТ}1} = 2,6 \cdot 8,5 \cdot [140 \dots 300] \cdot 8 \cdot 0,875 \cdot 9,8 = 212,4 \dots 455,0 \text{ кН} \cdot \text{с}.$$

Аналогичным образом проведен расчет для других доильных установок, данные сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Эргономичность труда операторов машинного доения на доильных установках «Карусель» / Table 3 – Ergonomics of labor of machine milking operators working at rotor milking machines «Carousel»

<i>Тип доильной установки «Карусель» / Type of rotor milking machine «Carousel»</i>	<i>Оператор / Operator</i>	<i>Суммарная масса груза, перемещаемая за 1 час / The total weight of the load moved in 1 hour</i>	<i>Величина статической нагрузки за смену при удержании груза, приложении усилий (кН·с) одной рукой / The value of the static load per shift when holding the load, applying force (kN·s) with one hand</i>
Milkline (внешняя / external 140...300, кор/ч / cow/hour)	Первый / The first Второй / Second Третий / Third	- 644...1380 -	- 212,4...455,0 -
AutoRotor 40 (внутренняя / internal 100...140 кор/ч / cow/hour)	Первый / The first Второй / Second Третий / Third	230...322 230...322 -	75,8...106,2 75,8...106,2 -
AutoRotor 40 (внешняя / external 142 кор/ч / cow/hour [1, 2])	Первый / The first Второй / Second Третий / Third	- 653 -	- 215,4 -
AutoRotor 60 (внешняя / external 250 кор/ч / cow/hour)	Первый / The first Второй / Second	575 575	189,6 189,6

Анализ данных таблиц 2 и 3 по физической нагрузке оператора за рабочую смену (с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса) при перемещении груза на расстояние до 1 м показывает, что она существенно варьирует у разных операторов и наибольшее значение принимает у вторых операторов при подключении доильных аппаратов на установках «Карусель» с внешним доением 20181...43239 Дж, при этом верхний предел считается допустимым для мужчин (не более 50000 Дж) и существенно превышен для женщин (не более 30000 Дж). По числу совершаемых движений за смену превышен верхний предел у первых операторов на установках Milkline (внешняя) и AutoRotor 40 (внешняя) (от 9520 до 20400 движений за смену при допустимой величине 20000).

Заключение. Суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены с рабочей поверхности, превышена для мужчин (норма не более 870 кг) и существенно превышена для женщин (норма не более 350 кг) и составляет 644...1380 кг на Milkline (внешняя) при условии, что на подключении доильного

аппарата работает один оператор. Суммарная масса грузов превышена и у женщин-операторов на «Каруселях» AutoRotor 40 (внешняя) и AutoRotor 60 (внешняя) и составляет соответственно 653 и 575 кг на одного оператора. Норма величины статической нагрузки за смену при удержании груза и приложении усилий одной рукой для мужчин – не более 353 кН·с, для женщин – не более 215,7 кН·с. На установках Milkline (внешняя) величина статической нагрузки составляет 212,4...455,0 кН·с при работе одного оператора на подключении доильного аппарата, при этом верхний предел существенно превышен как для мужчин, так и особенно для женщин.

Сравнительный анализ труда операторов машинного доения с оценкой вариантов обслуживания по эргономичности и энергоёмкости показал, что на доильных установках роторного типа производительностью более 140 кор/ч превышена допустимая норма статической нагрузки на оператора, что требует или увеличения количества операторов, или дополнительных мер по снижению на них нагрузки.

References

1. Кажко О. А. Барановский М. В., Курак А. С. Особенности организации труда при машинном доении коров на доильной установке «Карусель». Зоотехническая наука Беларуси. 2016:51(2):164-172. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26608237>
- Kazheko O. A. Baranovskiy M. V., Kurak A. S. Engineering peculiarities of automated milking at «Rotary» milking plant. *Zootekhnicheskaya nauka Belarusi*. 2016:51(2):164-172. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26608237>
2. Барановский М. В., Кажко О. А., Курак А. С. Оценка эффективности основных технологических элементов машинного доения на доильной установке «Карусель». Животноводство и ветеринарная медицина. 2016:(2):13-16. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32398296&>
- Baranovskiy M. V., Kazheko O. A., Kurak A. S. Evaluation of the effectiveness of the main technological elements of machine milking at the rotary milking unit. *Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina*. 2016:(2):13-16. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32398296&>
3. Кузнецов А. Л., Пыталев А. В. Исследование условий труда операторов машинного доения – факторы риска профессиональной заболеваемости и травматизма. Вестник сельского развития и социальной политики. 2017:2(14):9-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29345271&>
- Kuznetsov A. L., Pytalev A. V. Study of working conditions of machine milking operators – risk factors of occupational morbidity and injury. *Vestnik sel'skogo razvitiya i sotsial'noy politiki*. 2017:2(14):9-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29345271&>
4. Marzban A., Hayati A., Asoodar M. A. Evaluation of Performance and Cost of Hand and Mechanized Cow Milking Methods. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* (Iranian Journal of Agricultural Sciences). 2018;49(1):27-34. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.138776.664695>
5. Hayati A., Marzban A., Asoodar M. A. Ergonomic evaluation of hand and mechanized milking in dairy farms. *Journal of ergonomics*. 2015;3(3):65-75. URL: <https://www.sid.ir/En/Journal/ViewPaper.aspx?ID=524637>
6. Hayati A., Marzban A., Asoodar M. A. Ergonomic assessment of hand cow milking operations in Khuzestan province of Iran. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 2015;17(2):140-145. URL: https://www.researchgate.net/publication/282744232_Ergonomic_assessment_of_hand_cow_milking_operations_in_Khuzestan_Province_of_Iran
7. Niu S., Kogi K. Ergonomic agriculture: Practical and checkpoints in easy-to-implement solutions for improving safety, conditions in health and working agriculture, 2nd Ed. Geneva, International Labour Office (ILO). 2014. pp:260. URL: http://ilo.int/global/topics/safety-and-health-at-work/resources-library/publications/WCMS_176923/lang-en/index.htm

8. Tuure V. M. Determination of physical stress in agricultural work. International Journal of Industrial Ergonomics. 1992;10(4):275-284. DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(92\)90094-g](https://doi.org/10.1016/0169-8141(92)90094-g)
9. Vos H. W. Some ergonomic aspects of parlour milking. Canadian Agricultural Engineering. 1974;16(1):45-48. URL: <https://library.csbe-scgab.ca/all-publications/357-some-ergonomic-aspects-of-parlour-milking>
10. Caldas de Oliveira C., Augusto de Paula Xavier A., Ulbricht L., Moro A. R. P., Belinelli M. M. Health in the rural environment: a postural evaluation of milking workers in Brazil. Journal Cahiers Agricultures. 2018;27(3):35004. DOI: <https://doi.org/10.1051/cagri/2018021>
11. Stål M., Pinzke S., Hansson G. Å. The effect on workload by using a support arm in parlour milking. International Journal of Industrial Ergonomics. 2003;32(2): 121-132. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(03\)00046-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(03)00046-5)
12. Stål M., Pinzke S., Hansson G. Å., Kolstrup C. Highly repetitive work operations in a modern milking system. A case study of wrist positions and movements in a rotary system. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 2003;10(1):67-72. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12852735/>
13. Cockburn M., Savary P., Kauke M., Schick M., Hoehne-Hückstädt U., Hermanns I., Ellegast R. Improving ergonomics in milking parlors: empirical findings for optimal working heights in five milking parlor types. Journal of Dairy Science. 2015;98(2): 966-974. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8535>
14. Hayati A., Marzban A., Asoodar M. A. Workplace and Gravity: Two Mechanized Cow Milking Systems Compared for Human Physiological Strains. Journal of Agricultural Machinery. 2022;12(1):21-32. DOI: <https://doi.org/10.22067/jam.2020.58607.0>
15. Ahonen E., Venäläinen J. M., Könönen U., Klenk T. The physical strain of dairy farming. Journal Ergonomics. 1990;33(12):1549-55. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140139008925353>

Сведения об авторах

Цой Юрий Алексеевич, доктор техн. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9837-282X>

Кирсанов Владимир Вячеславович, доктор техн. наук, профессор, заведующий отделом, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

✉ **Мамедова Равза Анвяровна**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478>, e-mail: rozamamedova@mail.ru

Information about authors

Yuriy A. Tsoy, DSc in Engineering, professor, corresponding member of RAS, main researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9837-282X>

Vladimir V. Kirsanov, DSc in Engineering, professor, head of department, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

✉ **Ravza A. Mamedova**, PhD in Engineering, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478>, e-mail: rozamamedova@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Investigation and optimisation of the functioning parameters of the milking machine electronic unit, diagnosing the state of the udder quarters of cows for mastitis

© 2022. Peter A. Savinyh¹✉, Aleksandr A. Rylov¹, Valeriy N. Shulatiev¹, Semjons A. Ivanovs²

¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

²Latvia University of Life Sciences and Technologies, Riga, Latvia

The article informs on the search of values of setting the parameters of electronic unit of the milking machine providing the current control of physiological state of udder quarters during milking. The milking machine is equipped with electrode sensor for quarterly control of the lactation intensity. A rotatable plan was used in the studies on a hexagon for two factors. The influence of delay duration of measuring and the duration of search for maximum on relative values of average y_{aver} and maximum y_{max} deviations from minimum voltage value at the lower voltage divider arm has been determined. The algorithm of the program for the functioning of the electronic unit provided for restrictions on the width $\Delta = 0.03$ s and height $U_n = 2.45$ V of the lactation diagram. There were experimentally determined the values of the duration of the measurement delay 10 s and the duration of the search for the maximum 40 s, which ensure an adequate quarterly indication of mastitis during milking. The threshold for changing the colour of the LEDs of the electronic unit from green to red, signalling inflammation of the mammary gland in the quarters, is set to exceeding $y_{max} > 5$ %. Parallel samples of milk from the udder quarters for the kenotest confirmed the efficiency of application and expediency of the milking machine, performing the function of quarterly testing of the quarters for mastitis. Providing the option of quarterly control of udder quarters by milking machine does not need correction of the basic circuit of electronic unit and is achieved only by its programming considering physiological features of livestock kept. The results of investigations indicate that, on average, for healthy cows, the range of variation of the maximum relative voltage deviation on the lower divider of the electronic unit should not exceed 6...10 %.

Keywords: voltage divider, mastitis, electrodes, electrical conductivity of milk, relative deviation

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0094).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citations: Savinyh P. A., Rylov A. A., Shulatiev V. N., Ivanovs S. A. Investigation and optimisation of the functioning parameters of the milking machine electronic unit, diagnosing the state of the udder quarters of cows for mastitis. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):562-571. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.562-571>

Received: 04.05.2022

Accepted for publication: 08.07.2022

Published online: 25.08.2022

Исследование и оптимизация параметров функционирования электронного блока доильного аппарата, диагностирующего состояние четвертей вымени на мастит

© 2022. П. А. Савиных¹✉, А. А. Рылов¹, В. Н. Шулятьев¹, С. А. Иванов²

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

²Латвийский университет естественных наук и технологий, г. Рига, Латвия

Статья посвящена поиску величин настроек параметров электронного блока доильного аппарата, обеспечивающего текущий контроль во время доения над физиологическим состоянием четвертей вымени. Доильный аппарат оснащен электродным датчиком почетвертного контроля интенсивности молоковыведения. В исследованиях применен почти ротабельный план на шестигульнике для двух факторов. Определено влияние на относительные величины среднего $y_{ср}$ и максимального y_{max} отклонений от минимальной величины напряжений на нижнем плече делителя напряжения длительности задержки измерений и продолжительности поиска максимума. Алгоритм программы функционирования электронного блока предусматривал ограничения по ширине $\Delta = 0,03$ с и высоте $U_n = 2,45$ В диаграммы молоковыведения. Экспериментальным путем определены значения длительности задержки измерений 10 с и продолжительности поиска максимума 40 с, обеспечивающие во время доения адекватную почетвертную индикацию мастита. Порог изменения цвета светодиодов с зеленого на красный электронного блока, сигнализирующего о воспалении молочной железы в четвертях, настроен на превышение $y_{max} > 5$ %.

Параллельные пробы молока из четвертей вымени на кенотест подтвердили эффективность применения и целесообразность осуществления доильным аппаратом функции почетвертного тестирования четвертей вымени доильным аппаратом. Обеспечение опции почетвертного контроля функционального состояния четвертей вымени доильным аппаратом не нуждается в доработке принципиальной схемы электронного блока, а достигается исключительно его программированием с учетом физиологических особенностей обслуживаемого поголовья коров. На наш взгляд, в среднем для здоровых коров диапазон варьирования предельного максимального относительного отклонения напряжения на нижнем делителе электронного блока не должен превышать 6...10 %.

Ключевые слова: делитель напряжения, мастит, электроды, электрическая проводимость молока, относительное отклонение

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0094).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Савиных П. А., Рылов А. А., Шулятьев В. Н., Иванов С. А. Исследование и оптимизация параметров функционирования электронного блока доильного аппарата, диагностирующего состояние четвертей вымени на мастит. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):562-571. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.562-571>

Поступила: 04.05.2022

Принята к публикации: 08.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Dairy farming is an important agricultural sector in the Baltic States, Northern and Central Europe, Russia and other countries and the dairy products are traditionally a popular food [1, 2]. There are ubiquitous various option for machine milking of cows allowing to carry out this process with high efficiency [3, 4, 5]. However, machine milking also has negative aspects, associated with the impact of the machine elements upon the animal health. For example, as a result of general use of machine milking in the industrially developed countries, the lactating cows have widespread mastitis [6].

Diseases of the mammary gland reduce the milk yield by 10...40 %, worsen the sanitary and technological quality of milk and, especially with the highly productive cows, lead to a decrease in the reproductive function [7, 8].

There are many scientific works devoted to the problem of reducing the mastitis morbidity, there are significant achievements in this direction [9, 10, 11]. Yet, unfortunately, the situation in practice remains tense as before, there is no final victory over this disease, and, moreover, mastitis is becoming the main reason for the short period of productive use of the high-yielding cows in the large modern automated dairy complexes. Such a situation forces the milk producers to exercise constant control [12, 13] over the functional condition of the mammary gland.

However, a veterinary control of this condition has a number of problems, and it is associated with high labour costs. There is no unequivocal solution to this issue by using automation tools yet. The search for efficient solutions of continuous control of the condition of the mammary gland is still an urgent scientific task [14, 15].

The purpose of the work is to study and optimise the parameters of the electronic unit of the milking machine, which diagnoses the functional state of the mammary gland directly during the milking of the cows.

Materials and Methods. An experimental milking machine was used for the investigations, equipped with a device for quarter-by-quarter control of the lactation intensity (Fig. 1).



Fig. 1. General view of the milking machine, equipped with the device for the quarterly control of lactation intensity /

Рис. 1. Общий вид доильного аппарата, оснащенного устройством почетвертного контроля интенсивности молоковыведения

The voltage on the lower arm of the divider of the electronic unit of the milking machine, equipped with a device for the quarter-by-quarter intensity control of the of milk output, adequately

reflects the trend of changes in the intensity of the milk output from each quarter of the udder, i.e. the voltage is proportional to the intensity of lactation and electrical conductivity of milk. An objective difficulty in experimental determination of the functional condition of the mammary gland in cows directly during milking with a milking machine is created, firstly, by the presence of a biological object (cow), and, secondly, by the technical complexity of making a full-fledged and strictly organised measuring cell in the collector of the milking machine [7]. It is known [16] that, with the increase in the immersion depth of the electrodes of the lactation intensity sensor into the solution, the dependence of voltage on the lower arm of the divider upon its immersion decreases. Therefore, to reduce the degree of influence of the depth of immersion, it is necessary to measure the electrical conductivity in each quarter of the mammary gland during the onset of the maximum intensity of lactation in it.

The lactation intensity in each quarter is determined by the physiological and technological parameters of the biological and technical links that ensure the evacuation of milk from the nipple of the cow's udder. It should be noted that, when using the modern milking machines, the values of the technological and physiological parameters practically do not change during the attendance of each animal. For some time they may be approximately equal in the quarters as a result of active milk excretion, depending on the accuracy of the preparatory operations performed by the milker, on the functional state, and anatomical and morphological indicators of each cow. Consequently,

for the ascending branch of the milk excretion, there is a necessary period of time, even if of a relatively short duration, and not necessarily simultaneous in all the quarters, during which there takes place practically the same intensity of lactation. During this period of time in healthy cows the spread of estimates of the current electrical conductivity by the quarters of the udder, proportional to the intensity of lactation, determined by the intensity of the milk excretion, will be minimal.

Figure 2 presents a diagram of voltage pulsations on the lower arm of the electronic unit divider during the milking of a cow by a milking machine, equipped with a device for the quarter-by-quarter control of the lactation intensity, and operating on a two-stroke cycle. The trend of the voltage pulsations on the lower arm of the divider is proportional by its scale to the intensity of the milk flow from a quarter of the udder to the electrodes of the sensor of the milking machine.

A start for the search program of the maximum intensity value (maximum voltage U_{max} , Fig. 2) should occur at point 1, located slightly above the voltage, equivalent to the minimum allowed lactation intensity, for example, 50 ml/min. The search for the maximum U_{max} should end at point 2, corresponding to a slightly lower voltage U_k , than voltage U_n at point 1. The duration of the search for the maximum value U_{max} is regulated by the searching time t_n . The start of the search program should be performed when the width of the lactation diagram Δ (the time of intensive continuous outflow of milk) is reached after the measurement delay time t_3 , has elapsed, required for a start of a stationary process of milk extraction

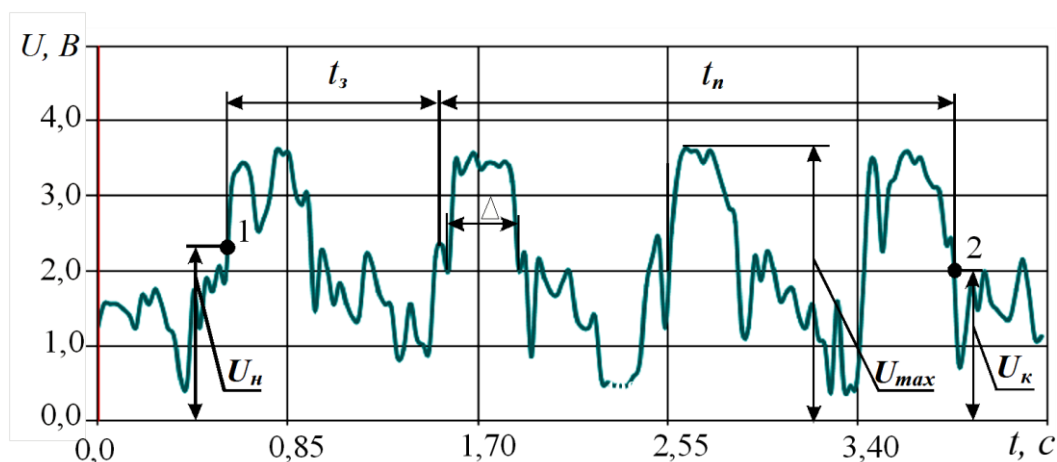


Fig. 2. Diagram of the voltage pulsations on the lower divider arm of the electronic unit during milking of the udder quarter /

Рис. 2. Диаграмма пульсаций напряжения на нижнем плече делителя электронного блока во время доения четверти вымени

The performed investigations [17] showed that, to achieve reliable and stable operation of the device for a quarter-by-quarter control of the lactation intensity, it is necessary that the width of the diagram Δ should be an order of magnitude less than the duration of the sucking cycle; since at setting Δ of one order of magnitude in duration with the sucking cycle, there is no light signaling about the appearance of milk from a quarter with an intensity of more than 50 ml min^{-1} . The flow of milk into the collector from the quarters of the udder is visually recorded, and the LEDs for the lactation intensity do not turn off. In addition, when milking cows, using a small volume milk and teat tanks, with a low intensity of the milk flow from the alveoli, no maximum value of tension is determined in the quarters of the udder for the entire period of milking. With the duration of the setting parameter $\Delta = 0.25 \text{ s}$, one order of the magnitude by the duration with the sucking cycle, the algorithm of the electronic unit program is unable to collect the amount of the necessary data during milking and, accordingly, process them. The search for the settings of the electronic unit that provide an objective assessment of the functional state of the udder quarters directly during milking was performed in a livestock complex with already healthy lactating cows. An almost rotatable design was implemented in the research for two factors from seven tests, providing for the variation of one factor at five levels, and the other factor at three levels [18]. To reduce the impact of uncontrolled factors upon the absolute values of the electrical conductivity of milk and to improve the diagnosing accuracy of mastitis, there were chosen in the studies as the target functions: the relative values of the average y_{aver} and the maximum y_{max} deviations from the minimum voltage value on the lower arm of the voltage divider. To test the mathematical models, experiments at the zero point of the plan were performed in triplicate and accordingly processed statistically [19, 20].

After the values of settings and the corresponding programming of the electronic unit were determined, the data, obtained when testing the cows in various functional states of the udder quarters by means of the milking machine, the results of the milk samples were compared in parallel for the kenotest.

Results ad Discussion. Finding the duration of the search of time t_n which guarantees an objective determination of the maximum lactation intensity in each quarter was experimentally performed

on a dairy farm. To achieve in the experiments reliable fixation of the beginning of milking and its end, there were significantly lower requirement in the settings of the operation algorithm of the electronic unit for the width ($\Delta = 0.03 \text{ s}$) and the height ($U_n = 2.45 \text{ V}$) of the lactation intensity diagram. The search for the maximum voltage was carried out by varying the duration of the measurement delay time t_3 (x_2) and the duration of the search for the maximum t_n (x_1). Finding the maximum voltage took place by varying two factors (the periods of time t_3 and t_n), so that the search time in each channel (quarters) included a time interval of 50 s after the connection of the corresponding teat cup. This range contains, on average, an interval, sufficient to achieve the maximum lactation intensity for all the quarters of the lactating cows. The plan of experiments and the results of the studying the impact of factors upon the value of the relative average voltage deviation y_{cp} are presented in Table 1.

After mathematical processing of the results of the experimental data in Table 1, the following second-order equation was obtained (the factors are normalised):

$$y_{aver} = 3,38 - 1,22x_1 + 0,62x_2 - 6,93x_1x_2 + 8,33x_1^2 - 0,81x_2^2. \quad (1)$$

Statistical analysis shows that equation (1) with a significance level $q = 0.05$ at freedom numbers $f_1 = 1$ and $f_2 = 14$ adequately describes the results of the experiments since the calculated value of the Fisher criterion is less than the corresponding tabular value: $F_{cal} = 14.56 < F_{tab} = 18.51$.

The duration of the search for the maximum (x_1) and the measurement delay (x_2) time, starting from which the maximum voltage is found, in the preset interval of factor variation do not statistically significantly affect the value of the objective function y_{aver} , since the corresponding calculated values of the t -criteria are less than the tabular value with the level of significance $q = 0.05$: $t_{cal} = 1.58$; $0.80 < t_{tab} = 2.15$. The coefficient at the first factor is negative, so it has an inverse effect on the value of the objective function. The coefficient at factor x_2 has a positive sign, which indicates its direct influence upon the objective function y_{aver} : the greater the delay time, the higher the average relative voltage deviation. The coefficient at the combined impact of the search duration x_1 and the delay time x_2 has a negative sign, and it statistically significantly affects the average value of the relative voltage deviation y_{aver} with a 5 % significance level since $t_{cal} = 4.48 > t_{tab} = 2.15$.

Table 1 – The plan, levels of the factor variation, the measurement results and calculations of the average relative deviation /

Таблица 1 – План, уровни варьирования факторов, результаты измерений и расчетов среднего относительного отклонения

No. / №	The search duration $t_n(x_1)$ of maximum voltage U_{max} / Продолжительность $t_n(x_1)$ поиска максимума напряжения U_{max}		Duration of the search delay $t_3(x_2)$ for the maximum U_{max} / Продолжительность задержки $t_3(x_2)$ поиска максимума U_{max}		Average relative voltage deviation y_{aver} , % / Среднее относительное отклонение напряжения y_{aver} , %	
	level / уровень	value, s / значение, с	level / уровень	value, s / значение, с		
1	-1	10	0	10	15.85	
2	1	50	0	10	7.58	
3	0.5	40	0.866	15	2.84	
4	0.5	40	-0.866	5	4.18	
5	-0.5	20	0.866	15	10.09	
6	-0.5	20	-0.866	5	2.37	
7	0	30	0	10	3.38	
8	0	30	0	10	3.95	
9	0	30	0	10	1.85	
Y_{aver}						
F_{cal}	14,56 ($f_1 = 1; f_2 = 14$)					
F_{tab}	18.51 ($q = 0.05$ provided / при $f_1 = 1; f_2 = 14$)					
b_i	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
$t_{i cal}$	2.53	1.58	0.80	4.48	5.08	0.53
t_{tab}	2.15 ($q = 0.05$ provided / при $f = 14$)					

The coefficient at the quadratic term x_2 of the first factor exerts a statistically significant effect the objective function y_{aver} with a 5 % significance level since the calculated value of the t -criterion is considerably higher than the tabular value: $t_{cal} = 5.08$ (0.53) $>$ $t_{tab} = 2.15$. The sign at the coefficient is positive; therefore, at the boundaries of the variation interval, the factor increases the value of the average relative voltage deviation. The sign at the coefficient is negative, therefore, at the boundary of the interval of variation of factor x_2 , the value of the average relative voltage deviation decreases. Graphical interpretation of equation (1) is presented in Figure 3. The surface of the response function y_{aver} has a saddle shape with a minimax, equal to $y_{aver} = 3.38$ % at the center of the experiment. Fig.3 shows that the value of the average relative voltage deviation in the studied range of the factor variation varies in a wide range from 2.0 % to 8.0 %. The minimum values of the average relative voltage deviation are located in the first and third quadrants.

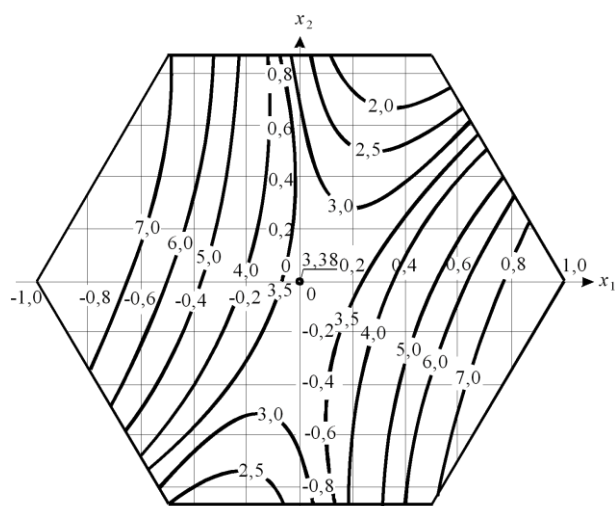


Fig. 3. Joint impact of duration x_1 and delay x_2 of the search on the value of the average relative voltage deviation y_{aver} /

Рис. 3. Совместное влияние продолжительности x_1 и задержки x_2 поиска на величину среднего относительного отклонения напряжения y_{aver}

In our opinion, an algorithm for the determination of mastitis by the electronic unit should contain intervals of variation as the delay duration intervals $t_3 = 12.5...15.0$ s; and search $t_n = 34.0...38.0$ s since with these adjustable parameters the value of the average relative voltage deviation y_{aver} will vary within a range: $y_{aver} = 2.0...2.5$ %. The range of variation of the average relative voltage deviation at the lower divider of the electronic unit should not exceed 3.0 %, which, in our opinion, should be considered the maximum allowable norm for healthy cows. The plan of experiments and the results of the research of the impact of factors x_1

and x_2 upon the value of the relative maximum voltage deviation y_{max} are presented in Table 2. As a result of mathematical processing of the experimental data, given in Table 2, a second-order equation was obtained (the factors are normalised):

$$y_{max} = 5,95 - 11,43x_1 + 1,17x_2 - 8,57x_1x_2 + 8,83x_1^2 - 0,71x_2^2 \quad (2)$$

The statistical analysis indicates that equation (2) with a significance level $q = 0.05$ at freedom numbers $f_1 = 1$ and $f_2 = 14$ adequately describes the experimental data since the calculated value of the Fisher criterion is less than the corresponding tabular value $F_{cal} = 8.83 < F_{tab} = 18.51$.

Table 2 – The plan, levels of the factor variation, the results of measurements and calculations of the voltage maximum relative deviation /

Таблица 2 – План, уровни варьирования факторов, результаты измерений и расчетов максимального относительного отклонения напряжения

No. / №	The search duration $t_n(x_1)$ of maximum voltage U_{max} / Продолжительность $t_n(x_1)$ поиска максимума напряжения U_{max}		Duration of the search delay $t_3(x_2)$ for the maximum U_{max} / Продолжительность задержки $t_3(x_2)$ поиска максимума U_{max}		Maximum relative voltage deviation y_{max} , % / Максимальное относительное отклонение напряжения y_{max} , %	
	level / уровень	value, s / значение, с	level / уровень	value, s / значение, с		
1	-1	10	0	10	19.94	
2	1	50	0	10	9.67	
3	0.5	40	0.866	15	6.61	
4	0.5	40	-0.866	5	6.11	
5	-0.5	20	0.866	15	14.78	
6	-0.5	20	-0.866	5	3.16	
7	0	30	0	10	7.99	
8	0	30	0	10	3.40	
9	0	30	0	10	6.58	
Y_{max}						
F_{cal}	8.83 ($f_1 = 1; f_2 = 14$)					
F_{tab}	18.51 ($q = 0.05$ provided / при $f_1 = 1; f_2 = 14$)					
$t_{i cal}$	b_0	$t_{i cal}$	b_0	$t_{i cal}$	b_0	$t_{i cal}$
t_{tab}	2.55	1.06	0.86	3.17	3.08	0.26
t_{tab}	2.15 ($q = 0.05$ provided / при $f = 14$)					

The duration of the search for the maximum x_1 in a preset interval of the factor variation does not statistically significantly affect the value of the objective function y_{max} , since the corresponding calculated value of the t -criterion is less than the tabular value with a significance level $q = 0.05$: $t_{cal} = 1.06 < t_{tab} = 2.15$. The coefficient at the first factor is negative, so it exerts an inverse effect upon the value of the objective function.

The duration of the search delay x_2 , after which the search for the maximum voltage begins in the particular interval, does not statistically significantly affect the value of the objective function y_{max} either since the corresponding calculated value of the t -criterion is less than the tabular value with a significance level $q = 0.05$ ($t_{cal} = 0.86 < t_{tab} = 2.15$). The sign of the coefficient is positive; therefore, the factor has a direct impact upon the objective

function. The coefficient at a joint impact of factors x_1 and x_2 in equation (2) has a statistically significant effect upon the magnitude of the maximum relative voltage deviation with a 5% significance level since $t_{cal} = 3.17 > t_{tab} = 2.15$, the at the coefficient at a joint impact of factors is negative. The coefficient at the quadratic term of factor x_1 exerts a statistically significant effect upon the objective function y_{max} with a 5 % significance level since the calculated value of the t -criterion is much higher than the tabular value, since $t_{cal} = 3.08 > t_{tab} = 2.15$. The sign at the coefficient is positive, therefore at the boundaries of the variation intervals the factor increases the value of the maximum relative voltage deviation. The coefficient at the second quadratic term does not statistically significantly affect the objective function y_{max} with a 5 % significance level since the calculated value of the t -criterion is significantly less than the tabular value, since $t_{cal} = 0.26 < t_{tab} = 2.15$. The sign at the coefficient is negative, therefore at the boundaries of the variation intervals the factor somewhat reduces the value of the maximum relative voltage deviation y_{max} .

Graphical interpretation of equation (2) is shown in Figure 4.

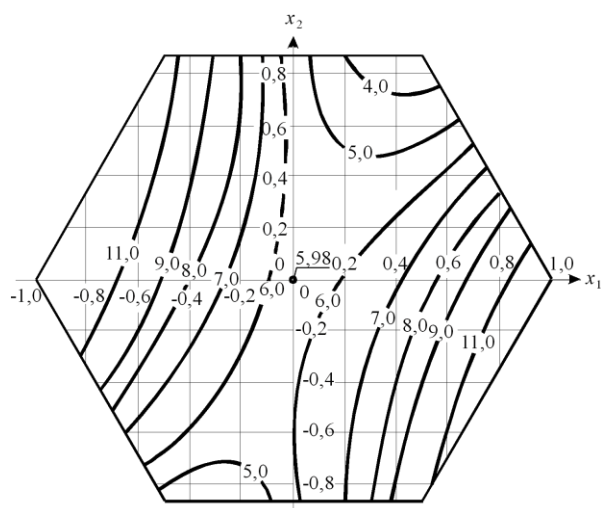


Fig. 4. Impact of duration x_1 and delay x_2 of the search on the value of the maximum relative voltage deviation y_{max} /

Рис. 4. Влияние продолжительности x_1 и задержки x_2 поиска на величину максимального относительного отклонения напряжения y_{max}

The response surface y_{max} has a saddle shape with higher objective function values and a minimum of 5.98 % at the center of the study. It follows from Figure 4 that the value of the maximum relative voltage deviation y_{max} in the studied range of the factor variation varies within a wide range

from 4.0 % to 11.0 %. The minimum values of the maximum relative voltage deviation are located in the first and third quadrants. The first quadrant should be considered more preferable since a larger range of the factor variation corresponds to the minimum of the objective function: $y_{max} \leq 5\%$. It should be noted that the desired interval of variation of the objective function $y_{max} \leq 5\%$ coincides with the optimum range of variation of factors for the objective function y_{aver} : $t_3 = 12.5..15$ s; $t_n = 34..38$ s. At the final stage, based on the generalisation of the research results, and also taking into account the presence in the herd of cows of the first year of lactation (first-calf heifers), which, as a rule, quickly shed milk, the following settings being established for the algorithm of the functioning of the electronic unit of the milking machine: $t_n = 40$ s; $t_3 = 10$ s; $\Delta = 0.03$ s; $U_n = 2.45$ V. The threshold of changing the color of the LEDs from green to red is set at the maximum relative voltage deviation $y_{max} > 5\%$. The results of testing the cows with various functional states of the udder quarters during milking, after programming the electronic unit of the milking machine, are compared with the diagnoses of the veterinary service of the farm, made by parallel testing of the milk samples of the diagnosed cows, supplied by parallel testing of the milk samples of the diagnosed cows from the udder quarters for kenotest.

For the first-calf heifer No.1, during milking by a milking machine, equipped with a quarter-by-quarter control of the lactation intensity, with the above settings, the LEDs did not change the green light after the end of milking. The relative maximum voltage deviation was $y_{max} = 3.76\%$. Similar indicators were obtained when milking the first heifer No.2: $y_{aver} = 2.80$ and $y_{max} = 3.94\%$. For the first-calf heifer No.3, the veterinarian diagnoses a suspicious inflammatory process in the posterior right quarter, based on a milk sample for kenotest, which practically coincides with the results of digital control by an electronic unit of the maximum relative voltage deviation in this quarter: $y_{max} = 5.1\%$, slightly more than 5 %. For the first-calf heifer No.4, the milk sample for kenotest indicates an inflammatory process in the front left and rear right quarters, which coincides with the results of testing with a milking machine: there was a change of the green color of the LEDs to red; the maximum relative voltage deviations in quarters were, respectively, $y_{max} = 13.6\%$ and $y_{max} = 11.3\%$. For the first-calf heifer No.5,

the veterinary service diagnoses an inflammatory process in the anterior left and posterior left quarters, which coincides with the results of testing the mammary gland quarters with a milking machine during milking: the LEDs changed to red, the maximum relative voltage deviations in these quarters reached the values $y_{max} = 12.8$ and 9.7 %. The conclusion of the veterinary service about mastitis in the anterior left quarter of the first heifer No.6 coincides with the readings of the electronic unit: the red color of the corresponding LED and the digital estimates of the electronic unit of the maximum relative voltage in the divider since $y_{max} = 6.7$ % exceeds 5.0 %. Mastitis in the anterior left quarter of the first heifer No.7 is diagnosed by the red glow of the LEDs and the digital assessment of the maximum relative voltage deviation in it since $y_{max} = 8.9$ % $>$ $y_{max} = 5.0$ %.

Consequently, the results of testing the cows with different functional states of the udder quarters during milking, after programming the electronic unit of the milking machine and comparing them with the diagnoses by the veterinary service, show the efficiency of the proposed solution.

Conclusions. The investigations have confirmed the technical viability, technological feasibility and operational efficiency of the implementation of milking machines, equipped with a device for quarterly control of the lactation intensity, checking the functional state of the quarters of the udder of cows for mastitis immediately during milking. The additional option of quarterly indication of mastitis in the quarters of the udder does not require technical intervention in the elemental and structural base of the electronic unit but it is carried out exclusively by its programming and settings, taking into account the zootechnical, morphological and physiological characteristics of the lactating herd.

In our opinion, the permitted range of values of the maximum relative voltage deviation on the lower divider of the electronic unit should not exceed $6.0...10$ %, which should be considered the maximum allowable norm for healthy cows. For such parameters it is necessary to program an electronic unit that provides color information about the functional state (mastitis) of the lobes of the mammary gland immediately during milking.

References

1. Priekulis J., Laurs A. Development trends of milk production mechanisation in Latvia. Engineering for Rural Development. 2020;19:270-275. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF063>
2. Čechura L., Kroupova Z., Benešova I. Productivity and efficiency in European milk production: Can we observe the effects of abolishing milk quotas? Agriculture (Switzerland). 2021;11(9):835. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11090835>
3. Gavorski M., Priekulis J. Analysis of milking system development on example of two baltic countries. Engineering for Rural Development. 2014;13:79-84. URL: https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2014/Papers/13_Gaworski_M.pdf
4. Mangalis M., Priekulis J., Laurs A. Influence of milking robot application on cow longevity and amount of somatic cells in milk. Engineering for Rural Development. 2020;19:244-248. DOI: <https://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf059>
5. Reinemann D. J., Smith D. J. Evaluation of automatic milking systems for the United States. Proceedings of the international symposium "Robotic Milking". Netherlands, Wageningen Press, 2000. pp. 232-238.
6. Adriaens I., Van Den Brulle I., Geerinckx K., D'Anvers L., De Vlieghe S., Aernouts B. Milk losses linked to mastitis treatments at dairy farms with automatic milking systems. Preventive Veterinary Medicine. 2021;194:105420. DOI: <https://doi.org/10.1101/2021.01.04.425263>
7. Penry J. F. Mastitis Control in Automatic Milking Systems. Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice. 2018;34(3):439-456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2018.06.004>
8. Ekkhorutoven O. T., Medvedev A. G. Noncontagious mastitis in cows. Current problems of veterinary obstetrics and animal reproduction: *mat-ly Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. Gorki: BSKhA*, 2013. pp. 458-464.
9. Dohmen W., Neijenhuis F., Hogeveen H. Relationship between udder health and hygiene on farms with an automatic milking system. Journal of Dairy Science. 2010;93(9):4019-4033. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-3028>
10. Kapustin I. V., Grinchenko V. A., Gritsay D. I., Kapustina E. I. The physiological requirements for the engineering of milking machines to reduce mastitis. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016;7(2):338-343.
11. Konopeltsev I. G., Shulyatev V. N. Udder inflammation in cows. Kirov-Saint-Petersburg: *SPbGAVM*, 2010. 355 p.
12. Paudyal S., Melendez P., Manriquez D., Velasquez-Munoz A., Pena G., Roman-Muniz I. N., Pinedo P. J. Use of milk electrical conductivity for the differentiation of mastitis causing pathogens in Holstein cows. Animal. 2020;14(3):588-596. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731119002210>

13. Lubimov V. E. Intelligent Electrophysiological Control of Cows Milk Reflex by Registration Electrical Skin Activity. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020;1072:100-107.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_10
14. Kirsanov V. V., Milesina O. V. Methods and technical means for determining the early diagnosis of mastitis in cows and the separation of abnormal milk in the stream during milking at milking machines. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2011;2 (2):54-58. (In Russ.).
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-i-tehnicheskie-sredstva-opredeleniya-ranney-diagnostiki-mastita-u-korov-i-otdeleniya-anomalnogo-moloka-v-potoke-pri-doenii-na>
15. Juozaitienė V., Anskienė L., Čereškienė E., Juozaitis A., Žymantiene J., Žilaitis V., Bobinienė R. Electrical conductivity of milk in different milking phases and relationship with subclinical mastitis and mastitis pathogens of cows. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2017;27(6):1829-1835.
URL: <https://www.vdu.lt/cris/entities/publication/5ba8066e-91bd-4f57-ad7f-c4893377a75c/details>
16. Shulyatev V. N., Rylov A. A., Konopeltsev I. G. Using the device of controlling the lactation intensity of udder quarters for diagnosing the functional state of cows' mammary glands during milking. *Vestnik Vyatskoy GSKhA*. 2019;(1):2-14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41367980>
17. Rylov A. A., Shulyatev V. N. Suction milking machines: development, research, optimization. Kirov: *ООО «VESI»*, 2021. 270 p.
18. Voznesenskiy V. A., Bazhenov Yu. M. Prospects of application of mathematical methods in the technology of precast concrete. Moscow: *Stroyizdat*, 1974. 192 p.
19. Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk V., Boris A. Mathematical model for determination of losses of sugar bearing-mass when sugar beet tops are removed. *Engineering for Rural Development, Proceedings*. 2015;14:41-45.
DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF140>
20. Fisher R. A. Statistical methods for research workers. Breakthroughs in Statistics. Kotz S., Johnson N. L. (eds), Springer Series in Statistics (Perspectives in Statistics). Springer: New York, 1992.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_6

Список литературы

1. Priekulis J., Laurs A. Development trends of milk production mechanisation in Latvia. *Engineering for Rural Development*. 2020;19:270-275. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF063>
2. Čechura L., Kroupova Z., Benešova I. Productivity and efficiency in european milk production: Can we observe the effects of abolishing milk quotas? *Agriculture (Switzerland)*. 2021;11(9):835.
DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11090835>
3. Gavorski M., Priekulis J. Analysis of milking system development on example of two baltic countries. *Engineering for Rural Development*. 2014;13:79-84.
URL: https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2014/Papers/13_Gaworski_M.pdf
4. Mangalis M., Priekulis J., Laurs A. Influence of milking robot application on cow longevity and amount of somatic cells in milk. *Engineering for Rural Development*. 2020;19:244-248.
DOI: <https://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf059>
5. Reinemann D. J., Smith D. J. Evaluation of automatic milking systems for the United States. *Proceedings of the international symposium "Robotic Milking"*. Netherlands, Wageningen Press, 2000. pp. 232-238.
6. Adriaens I., Van Den Brulle I., Geerinckx K., D'Anvers L., De Vlieghe S., Aernouts B. Milk losses linked to mastitis treatments at dairy farms with automatic milking systems. *Preventive Veterinary Medicine*. 2021;194:105420. DOI: <https://doi.org/10.1101/2021.01.04.425263>
7. Penry J. F. Mastitis Control in Automatic Milking Systems. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*. 2018;34(3):439-456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2018.06.004>
8. Экхорутвен О. Т., Медведев А. Г. Неконтагиозный мастит у коров. Актуальные проблемы ветеринарного акушерства и репродукции животных: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф. Горки: БСХА, 2013. С. 458-464.
9. Dohmen W., Neijenhuis F., Hogeveen H. Relationship between udder health and hygiene on farms with an automatic milking system. *Journal of Dairy Science*. 2010;93(9):4019-4033.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-3028>
10. Kapustin I. V., Grinchenko V. A., Gritsay D. I., Kapustina E. I. The physiological requirements for the engineering of milking machines to reduce mastitis. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016;7(2):338-343.
11. Конопельцев И. Г., Шулятьев В. Н. Воспаление вымени у коров (Udder inflammation in cows). Киров-СПб.: СПбГАВМ, 2010. 355 с.
12. Paudyal S., Melendez P., Manriquez D., Velasquez-Munoz A., Pena G., Roman-Muniz I. N., Pinedo P. J. Use of milk electrical conductivity for the differentiation of mastitis causing pathogens in Holstein cows. *Animal*. 2020;14(3):588-596. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731119002210>

13. Lubimov V. E. Intelligent Electrophysiological Control of Cows Milk Reflex by Registration Electrical Skin Activity. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020;1072:100-107.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_10
14. Кирсанов В. В., Милешина О. В. Способы и технические средства определения ранней диагностики мастита у коров и отделения аномального молока в потоке при доении на доильных установках. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2011;2 (2):54-58. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-i-tehnicheskie-sredstva-opredeleniya-ranney-dagnostiki-mastita-u-korov-i-otdeleniya-anomalnogo-moloka-v-potoke-pri-doenii-na>
15. Juozaitienė V., Anskienė L., Čereškienė E., Juozaitis A., Žymantiene J., Žilaitis V., Bobinienė R. Electrical conductivity of milk in different milking phases and relationship with subclinical mastitis and mastitis pathogens of cows. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2017;27(6):1829-1835.
URL: <https://www.vdu.lt/cris/entities/publication/5ba8066e-91bd-4f57-ad7f-c4893377a75c/details>
16. Шулятьев В. Н., Рылов А. А., Конопельцев И. Г. Использование устройства почетвертного контроля интенсивности молоковыведения для диагностирования функционального состояния молочной железы коров во время доения. *Вестник Вятской ГСХА*. 2019;(1):2-14.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41367980>
17. Рылов А. А., Шулятьев В. Н. Отсасывающие доильные аппараты: разработка, исследование, оптимизация. Киров: ООО «БЕСИ», 2021. 270 с.
18. Вознесенский В. А., Баженов Ю. М. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 192 с.
19. Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk V., Boris A. Mathematical model for determination of losses of sugar bearing-mass when sugar beet tops are removed. *Engineering for Rural Development, Proceedings*. 2015;14:41-45.
DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF140>
20. Fisher R. A. Statistical methods for research workers. *Breakthroughs in Statistics*. Kotz S., Johnson N. L. (eds), Springer Series in Statistics (Perspectives in Statistics). Springer: New York, 1992.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_6

Information about the authors

- ✉ **Peter A. Savinyh**, DSc in Engineering, professor, Head of the Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5668-8479>, e-mail: peter.savinyh@mail.ru
- Aleksandr A. Rylov**, DSc in Engineering, associate professor, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8431-1521>
- Valery N. Shulatiev**, DSc in Engineering, professor, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5686-863X>
- Semjons A. Ivanovs**, DSc in Engineering, Director of Ulbroka research center of Latvia University of Life Sciences and Technologies, Instituta str., 1, Ulbroka, LV-2130, Riga, Latvia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-1340>

Сведения об авторах

- ✉ **Савиных Петр Алексеевич**, доктор техн. наук, профессор, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5668-8479>, e-mail: peter.savinyh@mail.ru
- Рылов Александр Аркадьевич**, кандидат техн. наук, доцент, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8431-1521>
- Шулятьев Валерий Николаевич**, доктор техн. наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5686-863X>
- Иванов Семен Агафонович**, доктор инженерных наук, директор Улброкского научного центра Латвийского СХУ, ул. Института, 1, Улброка, г. Рига, Латвия, LV-2130, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-1340>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Источники эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота

© 2022. В. Ф. Вторый[✉], С. В. Вторый

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Ученых беспокоит рост средней температуры атмосферы земли, связанный с парниковым эффектом, вызванным повышением концентрации ряда газов, в том числе и углекислого, одним из источников которого являются животные и продукты их жизнедеятельности. Ежегодно возрастает потребность в продукции животноводства, что ведет к увеличению поголовья крупного рогатого скота и соответственно эмиссии углекислого газа в окружающую среду. Для определения основных источников, интенсивности и закономерностей эмиссии углекислого газа на молочных фермах с учетом влияния условий содержания животных в 2015-2021 гг. проведены теоретические и экспериментальные исследования на базе Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства и в условиях сельскохозяйственных предприятий Ленинградской области РФ. Основными источниками углекислого газа на молочной ферме крупного рогатого скота являются выдыхаемый животными воздух и навоз. В результате исследований установлено, что молочной коровой выдыхается от 4,5 до 8,5 кг углекислого газа в сутки в зависимости от ее продуктивности и массы. Эмиссия углекислого газа из навоза, накапливающегося в коровнике, составляет менее 1 % от массы углекислого газа, выдыхаемого животными. Применение современных инновационных технологий позволяет более эффективно использовать генетический потенциал животных при снижении негативного воздействия на окружающую среду. Выявленные закономерности и моделирование процессов эмиссии углекислого газа позволили определить, что при увеличении удоя коровы от 10 до 30 кг в сутки снижение эмиссии углекислого газа на 1 кг молока может составить 2,3-2,5 раза.

Ключевые слова: коровник, парниковые газы, эмиссия, навоз, воздух

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (работа № 0581-2019-0025).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Вторый В. Ф., Вторый С. В. Источники эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):572-579.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579>

Поступила: 04.05.2022

Принята к публикации: 04.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Sources of carbon dioxide emissions on a cattle dairy farm

© 2022. Valeriy F. Vtoryi[✉], Sergei V. Vtoryi

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, the Russian Federation

The great concern of scientists is the rise in the average temperature of the Earth's atmosphere associated with the greenhouse effect caused by higher concentration of some gases, carbon dioxide included. Animals and their wastes are one of the carbon dioxide sources. Annually there is the growing need in livestock products. This leads to a bigger number of farm animals and consequent higher carbon dioxide emissions into the environment. Theoretical and experimental studies of 2015-2021 at the premises of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production and agricultural enterprises in the Leningrad Region of the Russian Federation were aimed at identifying the main sources, intensity and patterns of carbon dioxide emissions in dairy cow barns with due account for the effect of animal housing conditions. The main carbon dioxide sources on a cattle dairy farm are the air exhaled by animals and manure. From the study results, a dairy cow exhales from 4.5 to 8.5 kg of carbon dioxide per day depending on its productivity and mass. The carbon dioxide emission from manure accumulated in a barn is below 1 % of the carbon dioxide exhaled by animals. Modern innovative technologies allow for more efficient use of genetic potential of animals and reduce the negative impact on the environment. The revealed patterns and modelling of carbon dioxide emissions showed that with an increase in cow milk yield from 10 to 30 kg/day, the carbon dioxide emission per 1 kg of milk can decrease 2.3 to 2.5 times.

Keywords: cow barn, greenhouse gases, emissions, manure, air

Acknowledgements: the research was performed under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. 0581-2019-0025).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citations: Vtoryi V. F., Vtoryi S. V. Sources of carbon dioxide emissions on a cattle dairy farm. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):572-579. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579>

Received: 04.05.2022

Accepted for publication: 04.07.2022

Published online: 25.08.2022

Повышение средней температуры в атмосфере земли приводит к усилению негативных процессов, нарушающих экологическое равновесие окружающей человека среды, что обостренно вызывает тревогу. Одним из факторов, ускоряющих эти процессы, является «парниковый эффект», связанный с ростом концентрации в атмосфере парниковых газов, где одним из основных является углекислый газ (CO₂), образующий «карбоновый след».

Проблема климатических изменений признается учеными всех стран, ведется поиск путей снижения выбросов CO₂ с совершенствованием технологий производства, в т. ч. и сельскохозяйственной продукции [1].

Животноводство – это один из источников парниковых газов, в т. ч. и CO₂. Годовой объем выбросов парниковых газов на территории РФ в CO₂ – эквиваленте от внутренней ферментации сельскохозяйственных животных, в 2018 году составил 49 млн т, а от системы сбора и хранения навоза 15 млн т, это 2,9 % от всех выбросов в России [2].

В то же время несоблюдение зоотехнических требований по содержанию углекислого газа в животноводческом помещении отрицательно влияет на молочную и мясную продуктивность скота и в целом на эффективность производства. Существует ряд исследований, подтверждающих отрицательное воздействие на сельскохозяйственных животных, когда концентрация углекислого газа составляет 3000 ppm или выше. Такие неблагоприятные условия наблюдаются в коровниках при зимних условиях содержания животных [3, 4].

Нашими исследованиями установлено, что в зимний стойловый период в коровнике с привязным содержанием концентрация CO₂ может превышать предельно допустимые концентрации (ПДК) до 25 % [5]. Исследования микроклиматических условий в коровнике на 200 голов в летний период показали, что содержание CO₂ составляет в среднем от 700 до 1200 ppm и не превышает 50 % от ПДК [6]. Длительное воздействие на организм животных воздуха, содержащего свыше 1 % (10000 ppm) углекислого газа, может вызвать хроническое отравление, снижение продуктивности и устойчивости к заболеваниям [3].

Источником парниковых газов, в том числе и CO₂, являются животные и продукты их жизнедеятельности (выдыхаемый воздух, навоз). Необходимо отметить, что с ростом интенсивности производства и продуктивности животных растет объем выделяемых ими продуктов жизнедеятельности и CO₂ в окружающую среду.

На состояние микроклимата и концентрацию CO₂ в коровнике существенное влияние оказывает технология содержания животных, уборки и удаления навоза. В работе [7] рассмотрены комбикоксовый и беспривязный способы содержания. Загрязненность навозных проходов в секциях с комбикоксами была в два раза больше, чем в секциях с боксами и соответственно концентрация углекислого газа в секциях с комбикоксами выше. Отмечено, что содержание коров на подстилке существенно снижает концентрацию вредных газов в коровнике.

В процессе удаления навоза из коровника с привязным содержанием концентрация углекислого газа возрастает в 1,3-1,5 раза в различных частях коровника. По завершению процесса удаления навоза концентрация углекислого газа снижается до начальных значений через 6-10 минут в зависимости от существующих условий вентиляции помещения [8].

Молочное скотоводство является существенным источником углекислого газа, оказывающим влияние на формирование «карбонового следа» в окружающей среде. Для оценки уровня этого воздействия необходимо установить источники и уровень эмиссии CO₂ на молочных фермах КРС.

Цель исследования – определение источников, интенсивности и закономерностей эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота.

Научная новизна состоит в обосновании зависимостей выделения углекислого газа из различных источников на молочной ферме КРС с учетом влияния технологии содержания скота, параметров микроклимата коровников и внешней среды.

Материал и методы. Теоретические исследования эмиссии CO₂ в животноводческих помещениях проведены с использованием

обзора научно-технической литературы, нормативных и патентных документов с обобщением и систематизацией собранной информации методом сравнительного анализа, что позволило определить основные источники и уточнить закономерности выделения углекислого газа на молочных фермах КРС при различных условиях содержания коров их продуктивности и массы.

Экспериментальные исследования проводили с 2015 по 2021 год по разработанным в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВМ программ-методикам, частично опубликованным в работах [6, 8, 9, 10, 11], с использованием метода планирования экспериментов, инструментального экспресс-метода, компьютерной регистрации и обработки данных в лабораторных и производственных условиях хозяйств Ленинградской области. Результаты исследований обработаны известными методами математической статистики с использованием программ MS Excel и Statgraphics¹.

Результаты и их обсуждение. В животноводческом помещении комфорт содержания коров определяется, в том числе и параметрами воздушной среды. Наряду с температурой, относительной влажностью воздуха нормиру-

ется содержание газов – аммиака, сероводорода, углекислого газа (CO₂). CO₂ – продукт дыхания животных и основная составляющая газовой среды в коровнике. Распределение его по помещению неравномерное и зависит от внешних погодных условий, направления и силы ветра, и разница эта может составлять 1,3-2,5 раза [9]. Концентрация CO₂ не должна превышать 2500 ppm, иначе происходит снижение продуктивности животных и работоспособности персонала.

Углекислый газ выделяется в процессе дыхания, причем объем его зависит от ряда факторов – продуктивности, массы животного, температуры окружающего воздуха и других. Анализ данных, представленных в методических рекомендациях², позволил определить зависимость выделения лактирующей коровы CO₂ при дыхании от среднего суточного удоя (рис. 1) и в виде математической модели:

$$CO_2^L = -7,8 + 0,2197 \cdot M_k + 0,0011 \cdot Q \cdot M_k + 0,0211 \cdot Q^2, \quad (1)$$

где CO₂^L – выделение коровы углекислого газа при дыхании, л/ч; Q – средний суточный удой, кг/гол; M_к – масса коровы, кг.

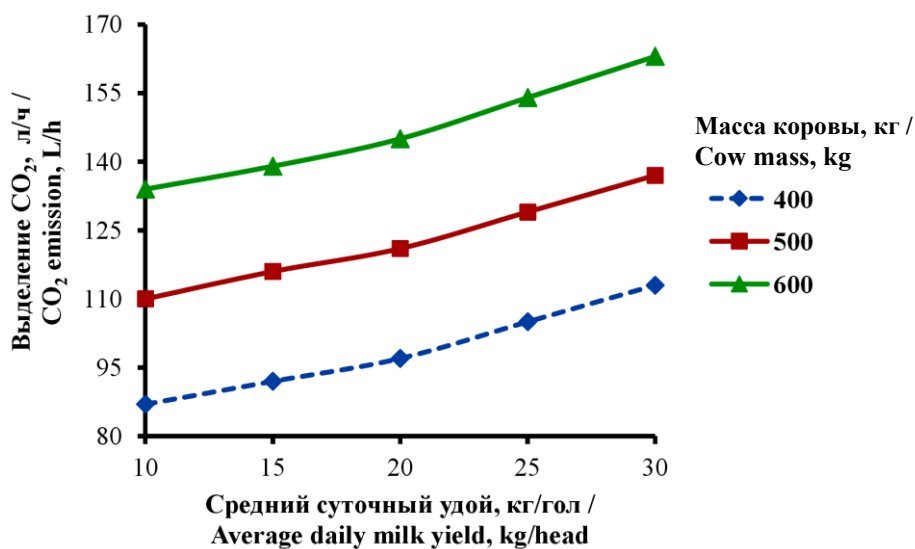


Рис. 1. Зависимость выделения лактирующей коровы CO₂ в зависимости от среднего суточного удоя и массы животного

Fig. 1. Dependence between the carbon dioxide emission from a lactating cow and average daily milk yields and animal mass

¹Валге А. М. Использование систем Excel и Mathcad при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства: методическое пособие. ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. СПб., 2013. 200 с.

²Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. РД-АПК 1.10.01.-1-18. МСХ РФ. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 166 с.

При снижении или повышении температуры воздуха происходит замедление или усиление процесса воздухообмена животного с окружающей средой и, как следствие, уменьшение или увеличение выделения CO_2 . Зависимость поправочного температурного коэффициента

для расчета выделения коровой CO_2 представлена на рисунке 2 и математической моделью:

$$k = 0,7592 + 0,0181 \cdot T + 0,0003 \cdot T^2, \quad (2)$$

где k – поправочный температурный коэффициент; T – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

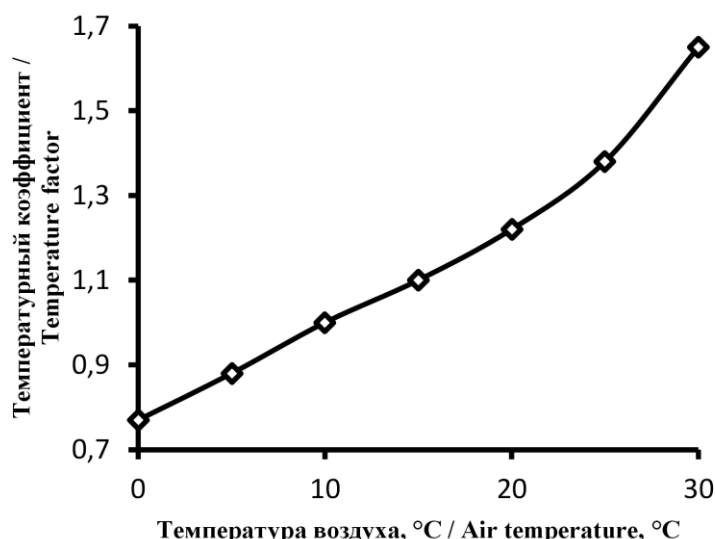


Рис. 2. Зависимость поправочного температурного коэффициента k от температуры окружающего воздуха для расчета выделения коровой CO_2 /

Fig. 2. Dependence between the temperature correction factor k and the ambient temperature for calculating carbon dioxide emission from a cow

Человечество не может отказаться от производства животноводческой продукции, в т. ч. от молока, объем производства которого будет только расти. Поэтому повышение продуктивности животных при снижении удельной эмиссии CO_2 на единицу произведенной продукции необходим для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду. По зависимости (рис. 3) видно, что при увеличении суточного удоя коровы снижается удель-

ная эмиссия углекислого газа на 1 кг произведенного молока. При росте продуктивности коровы от 10 до 30 кг в сутки снижение эмиссии CO_2 л/на 1 кг молока может составить 2,3-2,5 раза. В то же время повышение продуктивности коров сопровождается наращиванием массы животных и потреблением кормов и соответственно возрастает эмиссия CO_2 в 1,4-1,5 раза (рис. 3).

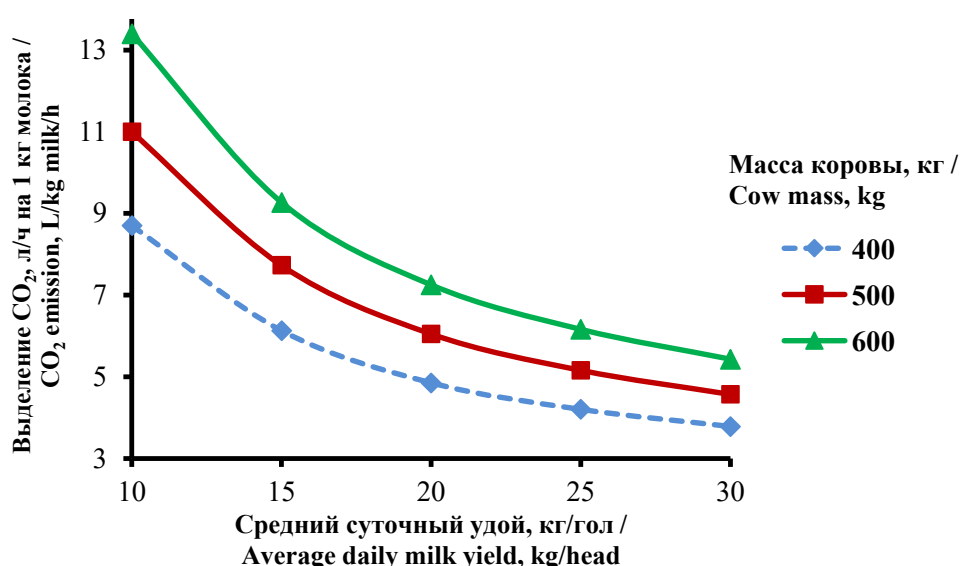


Рис. 3. Зависимость выделения CO_2 л/кг молока от среднего суточного удоя и массы животного /

Fig. 3. Dependence between the carbon dioxide emissions in litres per kg of milk yield per hour, the average daily milk yield, and the animal weight.

Для расчета удельной эмиссии CO_2 в зависимости от суточного удоя и массы коровы можно использовать уравнение регрессии (3):

$$\text{CO}_2 = 19,1365 - 1,9865 \cdot Q + 0,0192 \cdot M_{\text{к}} + 0,0402 \cdot Q^2, \quad (3)$$

где CO_2 – удельная эмиссия углекислого газа, л/ч на 1 кг молока.

При хранении навоза в коровнике выделяются в основном три парниковых газа – CO_2 , метан CH_4 , оксид азота N_2O [12]. Эмиссия углекислого газа из навоза является довольно существенной и плотность его при нормальных условиях составляет 1,977 г/л.

Выход навоза зависит от породы и массы животных, их продуктивности, рациона кормления и ряда других факторов. В работах [13, 14] установлена зависимость выхода навоза от массы лактирующей коровы и ее продуктивности. Анализ результатов исследований, представ-

ленных в этих публикациях, позволил построить модель процесса суточного выхода навоза от дойной коровы $M_{\text{н}}$ в зависимости от ее продуктивности и массы:

$$M_{\text{н}} = 12,069 + 2,476 \cdot Q + 0,02 \cdot M_{\text{к}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{н}}$ – суточный выход навоза от дойной коровы, кг/гол. сутки

Ранее нами проведены исследования по определению интенсивности эмиссии углекислого газа из навоза КРС при различных температурно-влажностных режимах [10, 15], в ходе которых средние значения температуры воздуха варьировали от 5 до 25 °С, температура навоза от 6,3 до 22,5 °С, влажность навоза составила 84-87 %, масса навески навоза 1 кг. Наиболее интенсивно процесс эмиссии CO_2 протекает в первые 1-2 часа, затем интенсивность снижается и стабилизируется (рис. 4).

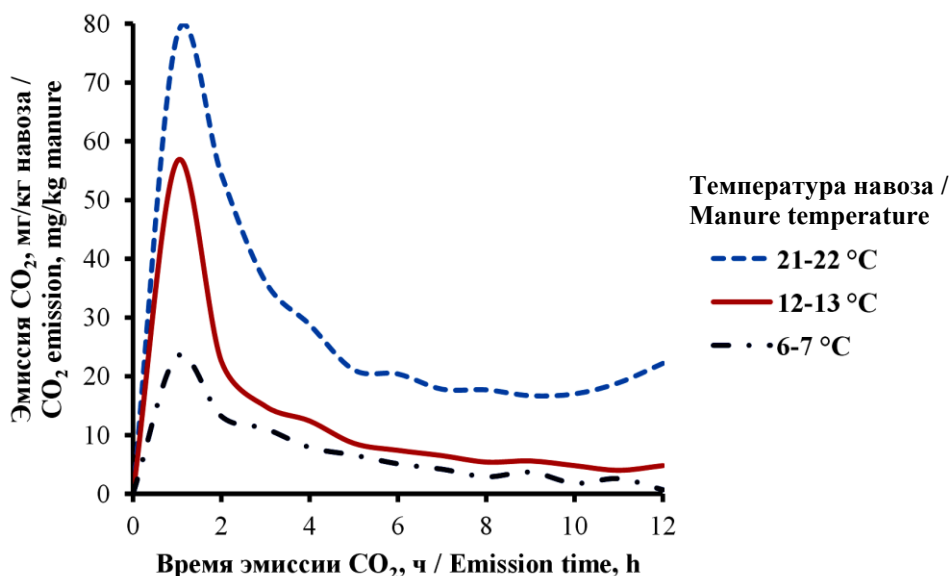


Рис. 4. Интенсивность эмиссии CO_2 из 1 кг навоза КРС в зависимости от температуры навоза и времени процесса /

Fig. 4. Intensity of CO_2 emission from 1 kg of cattle manure depending on the manure temperature and process time

Процесс эмиссии CO_2 из 1 кг навоза в зависимости от продолжительности процесса и температуры материала описывается уравнением регрессии:

$$\text{CO}_2' = -13,382 + 21,432 \cdot t + 1,401 \cdot T_{\text{н}} + 1,722 \cdot t \cdot T_{\text{н}} - 3,672 \cdot t^2, \quad (5)$$

где CO_2' – эмиссия углекислого газа, мг/кг навоза; t – время эмиссии CO_2 , ч; $T_{\text{н}}$ – температура навоза, °С

В процессе жизнедеятельности коровы масса выделенных экскрементов накапливается в коровнике, соответственно растет эмиссия

углекислого газа. На рисунке 5 представлен график эмиссии CO_2 из навоза, выделенного коровой за 6 часов в зависимости от температуры (зима-лето) накапливаемого навоза.

Получено уравнение регрессии, позволяющее определить количество выделяемого углекислого газа животными с учетом эмиссии из навоза:

$$\sum \text{CO}_2 = -1,8107 + 0,0129 \cdot M_{\text{к}} + 0,0856 \cdot Q, \quad (6)$$

где $\sum \text{CO}_2$ – суммарная эмиссия CO_2 , кг/гол. в сутки.

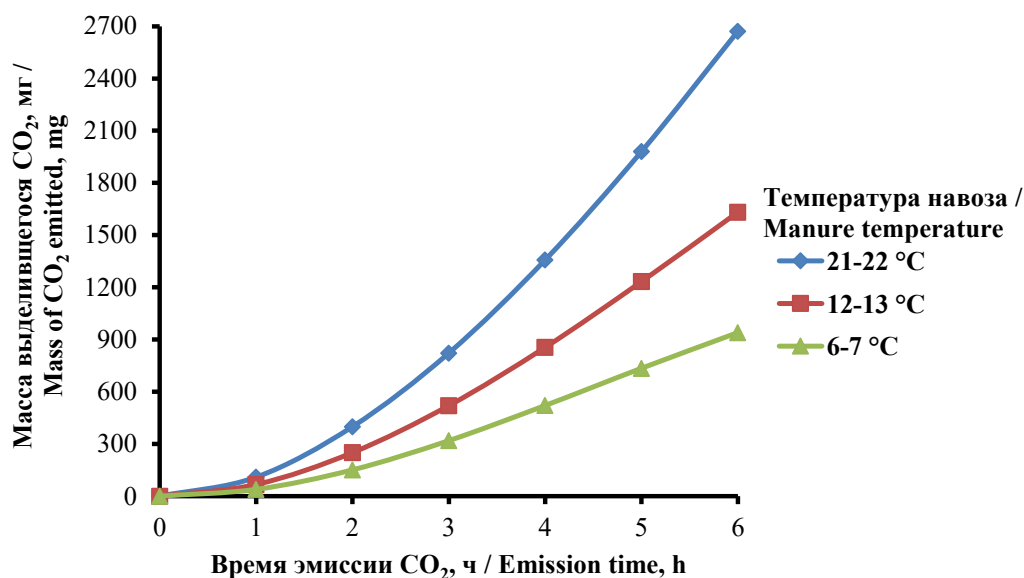


Рис. 5. Эмиссия CO₂ из навоза от одной коровы за 6 часов /
Fig. 5. CO₂ emission from manure per cow per 6 hours

Результаты исследований являются основой модели для расчета эмиссии CO₂ из коровника за сутки, расчетные значения представлены в таблице.

Таблица – Суточная эмиссия CO₂ из коровника на 200 гол., кг /
Table – Daily CO₂ emission from a cow barn for 200 cows, kg

Суточный удой / Daily milk yield	Масса коровы / Cow mass		
	400	500	600
20	1018	1277	1526
25	1099	1354	1613
30	1181	1445	1709

Как следует из данных таблицы, суточная эмиссия углекислого газа из коровника на 200 голов может достигать 1709 кг, при этом она зависит от продуктивности и массы животных.

Закключение. В результате наших исследований и расчетов установлено, что животными в зависимости от продуктивности и массы выдыхается от 4,5 до 8,5 кг углекислого газа в сутки. Эмиссия углекислого газа из навоза, накапливающегося в коровнике, весьма незначительна и составляет менее 1 % от массы углекислого газа, выделяемого лактирующими коровами.

Основной путь обеспечения населения продуктами животноводства при снижении ущерба окружающей среде это интенсификация производства. Так, при увеличении суточного удоя коровы от 10 до 30 кг в сутки снижение удельной эмиссии CO₂ на 1 кг молока может составить 2,3-2,5 раза.

Выявленные закономерности интенсивности эмиссии углекислого газа позволяют разработать модель влияния молочной фермы КРС на экологическое состояние окружающей среды в зоне функционирования животноводческого объекта.

Список литературы

1. Nanda S., Reddy S., Mitra S., Kozinski J. The progressive routes for carbon capture and sequestration. Energy Science&Engineering. 2016;4(2):99-122. DOI: <https://doi.org/10.1002/ese3.117>
2. Иванов А. Ю., Дурманов Н. Д., Орлов М. П., Пиксендеев К. В., Ровнов Ю. Е., Лукша П. О., Макаров И. А., Птичников А. В., Степанов И. А., Харченко М. М., Чертков Г. М. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад. Под ред. А. Ю. Иванова, Н. Д. Дурманова. М.: Издательский дом НИУВШЭ, 2021. 120 с.
3. Scientific report of EFSA prepared by the Animal Health and Animal Welfare Unit on the effects of farming systems on dairy cow welfare and disease. Annex to the EFSA Journal. 2009;1143:1-7. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1143r>
4. Romaniuk W., Karbowy A. Dostosowanie nowoczesnych systemów chowu zwierząt do wymagań ekologicznych. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardów UE: XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowa. Warszawa: IBMER, 2008. pp. 21-29.

5. Вторый В. Ф., Вторый С. В., Гордеев В. В., Ланцова Е. О. Микроклимат коровника на 200 голов в зимний период. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017;(4 (28)):99-103.

Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikroklimat-korovnika-na-200-golov-v-zimniy-period>

6. Вторый В. Ф., Вторый С. В., Ланцова Е. О. Результаты исследования концентрации CO₂ в типовом коровнике на 200 голов. Молочнохозяйственный вестник. 2016;(4(24)):72-79.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27698025>

7. Солодун В. И. Результаты мониторинга технологических процессов уборки навоза и микроклимата в коровнике при беспривязном содержании животных. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2014;(85):121-127.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22489613>

8. Vtoryi V., Vtoryi S., Gordeev V., Lantsova E. Carbon dioxide emission from cattle manure removed by scrapers. Engineering for Rural Development: Proceedings of the 16th International Scientific Conference (May 24-26, Jelgava, Latvia). Jelgava: LL. 2017;16:328-332. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N064>

9. Vtoryi V., Vtoryi S., Lantsova E., Gordeev V. Effect of weather conditions on content of carbon dioxide in barns. Engineering for Rural Development: Proceedings of the 15th International Scientific Conference (May 25-27, 2016, Jelgava, Latvia). Jelgava: LLU. 2016;15:437-441.

URL: <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N080.pdf>

10. Вторый С. В., Ланцова Е. О. Влияние температуры воздуха и влажности навоза на интенсивность эмиссии газов из навоза крупного рогатого скота. Региональная экология. 2015;(5(40)):43-45.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25127093>

11. Вторый В. Ф., Вторый С. В., Ильин Р. М. Исследование параметров микроклимата коровника переносным измерительным комплексом. АгроЭкоИнженерия. 2021;(3 (108)):154-164.

Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47145865>

12. Гриднев П. И., Гриднева Т. Т. Эмиссия парниковых газов и аммиака из навоза в процессе уборки и подготовки его к использованию. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017;(1(25)):25-33. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/emissiya-parnikovyyh-gazov-i-ammiaka-iz-navoza-v-protsesse-uborki-i-podgotovki-ego-k-ispolzovaniyu>

13. Текучев И. К., Текучева М. С., Черновол Ю. Н. Методология определения суточного выхода экскрементов от коров. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016; (4(24)):131-136.

Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-opredeleniya-sutochnogo-vyhoda-ekskrementov-ot-korov>

14. Текучев И. К., Черновол Ю. Н. Зависимости объема выделяемых коровой экскрементов от ее продуктивности. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017;(1(25)):40-43. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zavisimosti-obema-vydelyaemyh-korovoy-ekskrementov-ot-ee-produktivnosti>

15. Вторый С. В., Ланцова Е. О. Исследование эмиссии углекислого газа из навоза КРС. Инновации в сельском хозяйстве. 2014;(5):116-119. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22603756>

References

1. Nanda S., Reddy S., Mitra S., Kozinski J. The progressive routes for carbon capture and sequestration. Energy Science&Engineering. 2016;4(2):99-122. DOI: <https://doi.org/10.1002/ese3.117>

2. Ivanov A. Yu., Durmanov N. D., Orlov M. P., Piskendejev K. V., Rovnov Yu. E., Luksha P. O., Makarov I. A., Ptichnikov A. V., Stepanov I. A., Kharchenko M. M., Chertkov G. M. The Battle for Climate: Carbon farming as Russia's stake: expert report. Pod red. A. Yu. Ivanova, N. D. Durmanova. Moscow: Izdatel'skiy dom NIUVShE, 2021. 120 p.

3. Scientific report of EFSA prepared by the Animal Health and Animal Welfare Unit on the effects of farming systems on dairy cow welfare and disease. Annex to the EFSA Journal. 2009;1143:1-7.

DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1143r>

4. Romaniuk W., Karbowy A. Dostosowanie nowoczesnych systemów chowu zwierząt do wymagań ekologicznych. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardów UE: XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowa. Warszawa: IBMER, 2008. pp. 21-29.

5. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V., Gordeev V. V., Lantsova E. O. The microclimate of 200 heads' cowshed in winter period. Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva. 2017;(4 (28)):99-103. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikroklimat-korovnika-na-200-golov-v-zimniy-period>

6. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V., Lantsova E. O. Investigation results of CO₂ concentration in a standard barn for 200 cow heads. Molochno-khozyaystvennyy vestnik. 2016;(4(24)):72-79. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27698025>

7. Solodun V. I. Monitoring results of technological processes of manure removal and microclimate in a barn with loose cow housing. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhaniziro-vannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2014;(85):121-127. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22489613>

8. Vtoryi V., Vtoryi S., Gordeev V., Lantsova E. Carbon dioxide emission from cattle manure removed by scrapers. *Engineering for Rural Development: Proceedings of the 16th International Scientific Conference* (May 24-26, Jelgava, Latvia). Jelgava: LL. 2017;16:328-332. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N064>
9. Vtoryi V., Vtoryi S., Lantsova E., Gordeev V. Effect of weather conditions on content of carbon dioxide in barns. *Engineering for Rural Development: Proceedings of the 15th International Scientific Conference* (May 25-27, 2016, Jelgava, Latvia). Jelgava: LLU. 2016;15:437-441. URL: <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N080.pdf>
10. Vtoryi S. V., Lantsova E. O. The effect of air temperature and manure humidity on the intensity of gas emission from cattle manure. *Regional'naya ekologiya = Regional Ecology*. 2015;(5(40)):43-45. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25127093>
11. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V., Ilyn R. M. Study of the barn inside climate parameters with a portable measuring complex. *AgroEkoInzheneriya = Agricultural Engineering* (Moscow). 2021;(3 (108)):154-164. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47145865>
12. Gridnev P. I., Gridneva T. T. The greenhouse gases and ammonia emission at the manure cleaning and preparing it to use process. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017;(1(25)):25-33. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/emissiya-parnikovyh-gazov-i-ammiak-iz-navoza-v-protsesse-uborki-i-podgotovki-ego-k-ispolzovaniyu>
13. Tekuchev I. K., Tekucheva M. S., Chernovol Yu. N. The cows' excrements daily output determining methodology. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2016;(4(24)):131-136. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-opredeleniya-sutochnogo-vyhoda-ekskrementov-ot-korov>
14. Tekuchev I. K., Chernovol Yu. N. The cow's allocated excrements volume and its milk production dependings. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017;(1(25)):40-43. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zavisimosti-obema-vydelyaemyh-korovoy-ekskrementov-ot-ee-produktivnosti>
15. Vtoryi S. V., Lantsova E. O. The research of the cattle manure's carbon dioxide emission. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2014;(5):116-119. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22603756>

Сведения об авторах

✉ **Вторый Валерий Федорович**, доктор техн. наук, главный научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0026-6979>, e-mail: vvtoryj@yandex.ru

Вторый Сергей Валерьевич, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-1625>

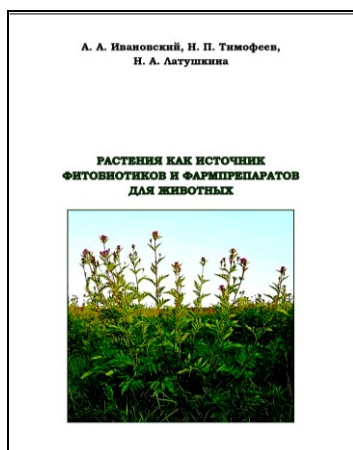
Information about the authors

✉ **Valeriy F. Vtoryi**, DSc in Engineering, chief researcher, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0026-6979>, e-mail: vvtoryj@yandex.ru

Sergei V. Vtoryi, PhD in Engineering, senior researcher, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-1625>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Новые научные издания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока



Растения как источник фитобактериальных и ферментативных препаратов для животных: Монография. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2022. 136 с.

Авторы: А. А. Ивановский, зав. лабораторией ветеринарной биотехнологии, доктор ветеринарных наук, Н. А. Латушкина, старший научный сотрудник, кандидат ветеринарных наук (Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, г. Киров); Н. П. Тимофеев, кандидат биологических наук (Научно-производственное предприятие по интродукции и биосинтезу экдистероидов КХ «БИО», г. Коржма).

В монографии изложены материалы научных исследований по изучению экдистерон синтезирующих растений – продуцентов биологически активных веществ (экдистероидов, флавоноидов и др.), их применению в ветеринарной медицине.

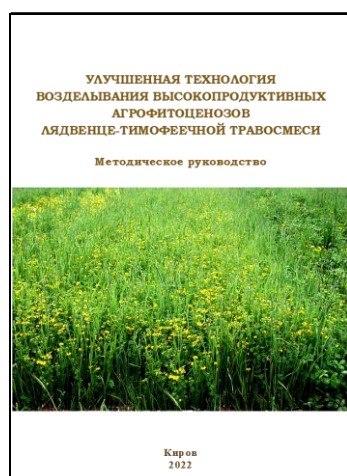
Предназначена для научных сотрудников, практикующих ветеринарных врачей, студентов и преподавателей ветеринарно-биологического направления.



Биоресурсы ячменя ярового для селекции новых коммерческих сортов в условиях Волго-Вятского региона. Методическое руководство / Под редакцией академика РАН Г. А. Баталовой. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2022. 28 с. (Электронный ресурс). Режим доступа: <http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2022/Биоресурсы-ячменя-2022.pdf>

Методическое руководство подготовили: И. Н. Щенникова, доктор с.-х. наук, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя, Т. К. Шешегова, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией иммунитета и защиты растений, Л. П. Кокина, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, И. Ю. Зайцева, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого); О. Н. Ковалева, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса и ячменя (ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова»).

Методическое руководство содержит обширную информацию о состоянии селекционных и иммунологических признаков 840 образцов ячменя ярового из коллекции генетических ресурсов ВИР, изученных в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Приведенные в издании селекционно ценные образцы могут быть использованы для разных направлений селекции этой культуры. Руководство может представлять интерес для научных работников, селекционеров, преподавателей и студентов высших учебных заведений биологического и сельскохозяйственного профиля.



Улучшенная технология возделывания высокопродуктивных агрофитоценозов лядвенце-тимофеечной травосмеси. Методическое руководство.

Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2022. 24 с. (Электронный ресурс). Режим доступа: <http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2022/Улучшенная-технология-2022.pdf>

Методическое руководство подготовили: В. А. Фигурин, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, А. П. Кислицына, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока).

Методическое руководство разработано по материалам многолетних исследований, проведенных на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах. Рассматриваются вопросы создания долголетних агрофитоценозов на основе лядвенца рогатого, применения удобрений и известкования, сроки скашивания и частота укосов, способы сохранения продуктивного долголетия лядвенце-тимофеечных травосмесей.

Предназначено для широкого круга специалистов сельского хозяйства различных форм собственности, научных работников, может использоваться в учебном процессе сельскохозяйственных учебных заведений.

